



# テンサイにおける自殖遺伝子( $S^f$ )を利用した高品質品種育種に関する研究

著者	蔵之内 利和
雑誌名	北海道農業研究センター研究報告
巻	177
ページ	55-117
発行年	2003-12-01
URL	<a href="http://doi.org/10.24514/00001311">http://doi.org/10.24514/00001311</a>

doi: 10.24514/00001311

# テンサイにおける自殖遺伝子( $S^f$ )を利用した 高品質品種育種に関する研究

藏之内利和

## 目次

### 緒言

#### 既往の研究成果

##### 低温による雄性不稔化を利用したSF系統間交配法

1. 着蕾期の低温処理による雄性不稔化
2. 低温処理の温度と期間の影響
3. 低温処理による雄性不稔化におけるO型系統と稔性回復型系統との比較
4. 低温処理による雄性不稔化を利用した系統間交配の有効性
5. 小括

##### SF系統間交配による主要農業形質の遺伝的考察

1. 収量および品質形質におよぼす自殖の影響
2. 収量形質および有害性非糖分の選抜効果とそれらの相互関係
3. 有害性非糖分の簡易測定法による選抜の効果と相関反応
4. 有害性非糖分の繰り返し選抜の効果
5. 小括

##### SF系統間交配によるテンサイ種子親系統の育成

1. SF系統間の交配により育成された系統の組合せ能力
2. 自家不和合性系統とSF系統の交配により育成された系統の特性と組合せ能力
3. SF系統間交配による育成種子親系統との交配 $F_1$ （三系交配）の収量・品質
4. 小括

#### 総合考察

#### 摘要

#### 謝辞

#### 引用文献・参考文献

#### Summary

#### 付表

## ・ 緒 言

我が国におけるテンサイ (*Beta vulgaris* L.) の育種研究の主目標は、高収量・高品質性を有する三系交配 $F_1$ 品種の育成である。そのために、 $F_1$ 品種の育成に必要な、細胞質雄性不稔系統とO型系統の育成(今西・武田, 1971), 両者の組合せである種子親系統や、種子親系統に主に用いられる自殖系統の育成(武田ら, 1979, 八戸ら, 1984), ペアクロス法の開発(田辺, 1983)等が進められてきた。

現在行われているテンサイの育種の過程を大別すると、種子親系統の育成、花粉親系統の育成、それらを交配した一代雑種の育成の3過程となる。その中で、種子親系統の育成には、様々な多胚系統と単胚系統との交配による新たな単胚系統の育成から始まり、雄性不稔維持個体(以下O型個体と記す)の選抜、収量特性等の選抜による雄性不稔維持系統(以下O型系統と記す)の育成、選抜されたO型系統の細胞質雄性不稔系統への戻交配による新たな雄性不稔系統育成まで、いくつかの系統育成段階が含まれる。したがって、種子親系統の育成には長期を要するとともに多くの労力を要する。

テンサイの育種においては、単胚性、細胞質雄性不稔性、自殖性、一年生等に関与する遺伝子が利用されている。テンサイは自家不和合性のために固定系統の作出が極めて困難であり、遺伝解析が複雑であったことなどから、他の作物と比較して、その遺伝研究は必ずしも解析が十分に進められてきたとは言い難い。そのため、各種の農業形質の遺伝学的および育種学的解析を進める必要があり、それには、遺伝的に固定した系統を育成する必要がある。最近ではアイソザイムやRFLP等のDNA標識を利用して詳細な遺伝子地図が構築されつつあり、これを利用した遺伝解析が進められている(ABE and TSUDA, 1987, 阿部, 1991, ABE et. al., 1993, BARZEN et. al., 1992, SMED et. al., 1989, VAN GEYT et. al., 1984, VAN GEYT et. al., 1990, WAGNER et. al., 1992)が、解析集団に自殖遺伝子 $S^f$ を利用することによって、大きな進歩が期待される。自家不和合性を持つテンサイにおいて、自殖遺伝子 $S^f$ を導入した自殖系統(以下SF系統と記す)が育成され、品種の育成において幅広く利用されるようになった。

$S^f$ 遺伝子は、OWEN(1942)により初めて報告され、SAVITSKY(1954)により、 $S^f$ 遺伝子を保有した個体は放任受粉条件下でも90~95%の比率で自殖種子を着けることが明らかにされた。SF系統は、章で記述するように、自殖弱勢が形質により現れることがあるものの、自家不和合性系統に比較して高い組合せ能力を示す(八戸ら, 1984)。また、SF系統を用いることにより、O型個体選抜の際に被検定親の遺伝子型をその自殖種子で保存することができるので、栄養体による遺伝子型保存を必要とする自家不和合性系統に比較してO型系統の育成手順が簡略化される(永田, 1985)。このような特長により、我が国でも欧米諸国から導入された遺伝的に多様な育種素材に由来する多くのSF系統が種子親系統として育成された(八戸ら, 1984)。中でも、1994年に育成された一代雑種品種「マイティ」の種子親系統には、2種のSF系統間の一代雑種である「NK-183BR×NK-219」が使用されている(藏之内ら, 1995)。また、自殖により同型接合型化することにより、育種素材内に低頻度で含まれている劣性遺伝子を具現化しうることから、特徴的な特性を有するSF系統も多く育成されている(藏之内ら, 1998)。

種子親系統の育成には、前述したとおり複雑な育成過程と長い年月を要している。特に、O型個体は、雄性不稔系統と被検定親系統とを個体別に交配した後代の雄性不稔性の調査結果に基づいて選抜されるので、O型系統の育成には多大な労力を必要とする。また、O型個体の出現率は一般に数%程度であり(今西・武田, 1971), 時には1%未満という低率であるため、O型個体選抜時に他の有用遺伝子を失う可能性が高い。このため、この育成過程を簡略化し、短期間で優良な新しいO型系統を効率的に育成することが大きな課題になっている。そのためには、新たなO型系統の育成法を開発する必要がある。

テンサイにおいて、優れた特性を持ったSF系統を用いた系統間交配により新たな系統の育成を行うことで、優良新系統の育成を効率化することが期待できる。また、その結果得られたSF系統を用いることにより、本来は自家不和合性作物であるテンサイに対し、自殖性作物におけるのと同じような手順で遺伝的解析を加えることができる。

我が国におけるテンサイの育種では、高収量に

重点をおいた品種育成がなされてきた。しかし、1986年より根中糖分を加味した原料テンサイの糖分取引制度が実施され、高糖分の原料テンサイが高い単価で買入れられるようになり、その結果として、従来から広く普及していた根重型品種に代わり、高糖型ないしはやや高糖・多収型の品種が広く作付けされるようになった(田中, 1998)。さらに近年では、製糖コストを引き下げるため、砂糖の回収率を低下させる有害性非糖分であるK、Naおよびアミノ-N(アミノ態窒素)の含量が低いことが重要になり、有害性非糖分の低含量、すなわち高品質な品種への要望が高まってきた。このため、高糖分・高品質特性を持つ系統を効率的に育成することが重要になっている。

本研究では、このような背景から、SF系統間交配により、高収量・高品質特性を有するO型系統、種子親系統および三系交配 $F_1$ 系統を育成することを目的とし、さらに、そのための交配法の開発、品質関連形質を中心とした主要形質の遺伝的考察を併せて行った。

本論文における各章の内容について概説する。

章では、着蕾期の低温処理による雄性不稔化を利用した交配法について、その処理条件と採種性について検討した。章では、SF系統間の交配による育種主要形質の遺伝的考察に関し、SF系統育成で重要となる自殖による影響、SF系統における根重および根中糖分の選抜効果について検討した。また、SF系統における有害性非糖分含量の遺伝的考察を行うため、有害性非糖分含量の選抜効果並びに有害性非糖分間および有害性非糖分と他形質との関連性を明らかにした。章では、種子親系統の育成において、SF系統間の交配による新系統の育成、自家不和合性系統とSF系統の交配による新系統育成について検討し、育成種子親系統を用いた三系交配 $F_1$ 系統の収量・品質特性を検討した。

## ．既往の研究成果

### 1．種子親系統の育成法

テンサイの一代雑種品種の育種に用いられる種子親系統には単胚性と雄性不稔性の特性が付与されている。この特性を安定的に発現する系統の育成には、複雑な育成操作と長い年月を要している(八戸ら, 1984, 今西・武田, 1991)。通常、単胚

性と雄性不稔性を持つ種子親系統の育成方法は、欧州あるいは米国より導入された多胚系統を既存の単胚系統と交配して単胚化することから始まる。この過程は、交配後代で分離する単胚個体から採種して次代を養成し、さらに多胚素材を戻交配する操作を3回繰り返すのが定法となっており、世代短縮を行っても単胚化には8年の期間を要する(武田ら, 1971)。次に、単胚系統からO型個体を選抜しなければならない。O型個体選抜の過程では、雄性不稔系統と被検定親系統とを交配し、得られた後代の雄性不稔型分離調査を行い、すべての後代が雄性不稔となるような被検定親個体を選抜する。O型個体の出現率は低いため、選抜に供する個体数を十分に大きくする必要がある。選抜されたO型個体の維持は、自家不和合性系統の場合は栄養繁殖により、SF系統の場合は自殖種子の採種により実施されている。O型個体選抜に要する期間は、挿し木(抽苔茎を挿し穂に用いる)による栄養体保存の場合は3～4年、母根分割による栄養体保存の場合で15～16ヶ月、自殖種子による保存の場合で10～12ヶ月を要する(武田ら, 1979)。

選抜されたO型個体群から、遺伝子型の固定と種子増殖を行いながら収量特性に関する個体選抜を2回ないし3回繰り返し、O型系統を育成する。この過程では、自家不和合性系統は母系採種、SF系統は自殖により選抜後代を得る。育成されたO型系統は、雄性不稔系統と交配して組合せ能力検定を行い、収量をはじめとする農業的特性の優良なO型系統を選定するとともに、特に優良な系統については戻交配によって細胞質置換をして雄性不稔化を図る。O型系統の収量特性に関しては個体選抜の過程で調査され、品質特性に関しては個体別の測定手法が未確立であるためにO型系統が育成された段階になってから選抜されている。優良な雄性不稔系統とO型系統との一代雑種種子親系統を花粉親系統と交配して三系交配一代雑種系統を育成し、その中から優良な一代雑種系統を選抜し、最終的には品種候補としている。

これまで多数のO型系統が上記手法により育成されてきたが、これらの有望系統間で交配を行い、新たな系統を選抜・育成する育種法は行われていない。また、O型個体の低出現率に由来する選抜効率の低さを克服する育種法、および品質特性に

関する効率的な個体選抜手法はまだ確立されていない。

## 2. テンサイの雄性不稔化

テンサイのSF系統は、高率に自殖種子を着けるため、SF系統間で交配する場合には除雄が不可欠であるが、手作業による除雄は効率が悪い。化学的除雄(雄性不稔化)剤を用いた取り組みは以前から行われてきており、ISAK(1963)は除雄剤の2,3-ジクロロイソ酪酸ナトリウム溶液を植物体に散布することによりテンサイに部分的に雄性不稔性が生じたことを報告した。SKOYEN(1969)は、同じ除雄剤の定期的な散布により、さらに効果的にテンサイを除雄できたと報告したが、植物体への傷害も認められた。傷害を起こさずにテンサイを効果的に除雄できる除雄剤については、報告がなされていない。一方、低温や乾燥などのストレスが、いくつかの植物種で雄性不稔性を引き起こすことが知られている(SATAKE, 1976, DORION et. al., 1996)。

低温による雄性不稔化は、主に冷害という面から研究がなされてきた。イネでは穂ばらみ期の低温により葯に機能障害が生じ、雄性不稔が発生する(SATAKE, 1974, SATAKE, 1976, SATAKE, 1989)。コムギでは、低温処理により雄性不稔となるが、雌性器官には傷害がなかったことが報告され(SUNESON, 1937)、低温処理による除雄が可能なことが示された。これらの作物では、低温ストレスにより生じる雄性不稔の育種への利用は論じられていない。

## 3. テンサイにおける自殖遺伝子 $S^f$ の利用

テンサイ育種の中で、SF系統育成については、自殖遺伝子の遺伝的側面から長谷川ら(1981)が、実際の系統育成の面から八戸ら(1984)が、それぞれ報告している。その成果として、自殖性の種子親系統を用いた一代雑種品種「モノパール」(関村ら, 1988, 関村ら, 1991)と「マイティ」(藏之内ら, 1995)が育成され、普及に移された。

また、武田ら(1979)が報告しているように、SF系統の場合は選抜個体の遺伝子型保存が容易なために自家不和合性系統よりもO型個体選抜時の操作が簡略化されると同時に、育種年限の短縮にも役立っている。

## 4. テンサイにおける自殖による特性の変化

SRIVASTAVAら(1989)は、テンサイにおいて自

殖により根重が減少したが根中糖分は変化しなかったことを報告している。藤本(1971)は袋掛けによる自殖を行い、自殖初期世代では草丈、茎葉重、根重、糖量において減少が認められたが、根中糖分ではその程度が小さかったことを報告している。このように、生産力関連形質の中で減少が最も問題となるのは、根重であると考えられる。一方、八戸ら(1984)は、自殖を3回行ったSF系統を供試し、さらに自殖を2~3回継続したが、自殖による形態的变化は観察されなかったと報告しているが、生産力関連形質については未調査である。

## 5. テンサイにおける収量・品質関連形質の選抜効果

HECKER(1964)や今西ら(1969)は、根重の遺伝力が0.1程度と極めて低いのに対し、根中糖分のそれは0.3を越えてやや高い値を示し、根中糖分は根重よりも選抜効果が期待できることを報告している。藤本(1971)も、根重の遺伝力が0.2以下と低く、根中糖分のそれが0.4~0.8と高いことを報告し、また、根中糖分は根重よりも選抜効果が高く、相加的な遺伝をすることを認めている。長谷川・武田(1973)は、選抜時期や栽培環境条件をも含めた根重および根中糖分の選抜効果について報告している。これらは自家不和合性系統での結果であり、SF系統における収量形質の選抜効果の報告は少ない。

細川(1954)は、アミノ-Nに関して育種・栽培面から詳細な調査を行い、その含量には高い遺伝力のあることを報告している。牧田(1964)および牧田・中島(1973)が行った有害性非糖分に関する一連の研究では、NaとKの含量の選抜効果、特に前者の効果が極めて高く、遺伝率は86~87%と推定している。RYSERら(1970)は、有害性非糖分の指標である不純物価による選抜で好結果を得たが、同時に用いた自殖系統では効果が一定でなかったと報告している。SMITHら(1989)は、循環選抜により有害性非糖分含量の選抜を行い、選抜効果と各成分の高い遺伝率を観察している。一方、COE(1987)は、ほ場の各個体について、隣接個体の有害性非糖分含量を加味した選抜、すなわち隣接個体の含量が高いにも関わらず低い含量を示す個体を選抜する手法を試み、高い選抜効果を得た。

CAMPBELLら(1983)は、有害性非糖分含量は、

根重と正，根中糖分と負の相関関係，各有害性非糖分含量間に正の相関を認め，POWERSら（1962）も同様の結果を報告している。一方，FINKNERら（1956），RYSERら（1959）および牧田（1964）は，基本的には上記の関係があるものの，系統によりこれらの相関関係が破られる場合があることを報告し，HACら（1952）もアミノ酸の含量で同様の現象があることを報告している。しかし，これらの報告は自家不和合性系統を用いた結果であり，SF系統における有害性非糖分の選抜効果およびその高品質品種育種上の意義については検討されていない。

### ・低温による雄性不稔化を利用したSF系統間交配法

テンサイの個体間で交配を行う場合，自家不和合性系統では，開花前に予め袋掛けをし，葯が十分に裂開した後に袋を他個体のものと交換することにより容易に交配種子を得ることができる。しかし，SF系統間の交配の場合は，開花前に葯を除去しなければならない。テンサイの花器は小さいことから，手作業による葯の除去には習熟が必要であり，作業能率が低く，多数の交配種子を得ることが容易ではない。

本章では，イネやコムギで報告されている，穂ばらみ期（花粉の4分子期前後）の低温処理による葯の障害（SATAKE，1974，SATAKE，1989）に着目し，人為的に雄性不稔化を引き起こすことによる新たな雄性不稔化法を確立し，除雄をせずにSF系統間の交配を試みた。

#### 1．着蕾期の低温処理による雄性不稔化

テンサイのSF系統を用い，着蕾期の低温処理により雄性不稔化できるか検討する。次いで，低温処理個体の蕾からサンプリングした葯の組織的観察を行い，雄性不稔化に際して見られる葯内部の形態的变化を調査する。

#### 材料および方法

供試系統（本研究に供試した系統の由来，特性等は，まとめて付表第1表と付表第2表に示した）には，単胚O型のSF系統である「NK-195mm-O」，「NK-219mm-O」，「NK-229BRmm-O」および「NK-235BRmm-O」の4系統を用いた。これらの系統は，自殖を5回以上繰り返して育成された系統であるため，自家不和合性系統に比べて系統内の個体間

変異は小さい。低温処理期間は，30日間と70日間の2水準とした。1997年4月7日に各系統を播種し，播種後50日の幼苗を5月12日から9月3日までの114日間，5 24時間日長（蛍光灯，約800lux，以下の実験も同様の照度で実施）の低温室において春化処理を行った。処理後，夜間補光（白熱灯，約250lux，以下の実験も同様の照度で実施）により24時間日長とした温室で生育・抽苔させ，着蕾が始まった10月22日から30日と70日のそれぞれの期間，上記条件の低温室で低温処理を行った。低温処理後，再び温室の24時間日長条件下で生育させ，開花後に雄性不稔の程度を調査した。雄性不稔の調査は，主茎部位の花の他に，先端より5本目の側枝までの花について調査し，6本目の側枝から下の側枝は全て切除した。雄性不稔型の評価は，今西・武田（1971）の方法に従い，個々の花について，第1表に示した5段階，すなわち完全不稔（W），半不稔-1（G），半不稔-2（Ys），部分稔性（Yp），正常（Yn）に分類した。これらのうち，雄性不稔型がWとGの花を雄性不稔として区分した。なお，Ysは花粉稔性回復の可能性が稀であるが否定できず，さらに，YpとYnは花粉を形成し，特に後者は通常の花粉稔性を有する。主茎部の調査花数は，処理個体の蕾の生育ステージを揃えるために開花の早い主茎部の花を除去したことにより減少した。

低温処理により雄性不稔化した葯の形態的観察は，単胚O型SF系統である「NK-219mm-O」を供試して実施した。供試系統を1998年4月16日に播種し，播種後32日目の5月18日から9月22日までの127日間，5 24時間日長の低温室において春化処理を行った。処理終了後，夜間補光により24時間日長とした温室で生育・抽苔させ，着蕾が始まった10月21日から30日間，5 24時間日長の低温室

第1表 テンサイの雄性不稔型の区分と葯の形状  
（今西・武田，1971）

雄性不稔型	記号	葯の特 徴			
		色	形	裂開	花粉稔性
完全不稔	W	白または茶	小・瘦	なし	なし
半不稔-1	G	明るい緑	〃	なし	なし
半不稔-2	Ys	橙色	やや〃	なし	なし
部分稔性	Yp	黄色	やや豊満	一部	混合
正常	Yn	黄色	豊満	裂開	正常

において低温処理を行った。低温処理終了直後、蕾をサンプリングする一方、低温処理個体を再び温室の24時間日長条件下で生育させ、開花後に雄性不稔の発生を確認した。サンプリングした蕾は、2.5%のグルタルアルデヒドにより固定した後、エタノールで脱水し、テクノビットを浸透させた。蕾から採取した葯は、実体顕微鏡下で、接眼マイクロメーターにより葯長を測定してからカプセルに入れ、テクノビット包埋し、乾燥器内で保管した。葯のサンプルから、ミクロトームで厚さ1.5ミクロンの切片を採取し、トルイジンブルーで染色後、顕微鏡観察により、花粉、タペート細胞、葯壁細胞の形態を観察するとともに、それらの大きさを測定した。

#### 結果および考察

##### 1) 着蕾期の低温処理による雄性不稔化

5 30日間の低温処理により、雄性不稔が生じた。低温処理によって雄性不稔化した葯は、細胞質雄性不稔個体の葯と同じように萎縮し、黒色を帯びていた(第1図:A)。30日間の低温処理による雄性不稔花率は、系統平均で「NK-229BRmm-O」

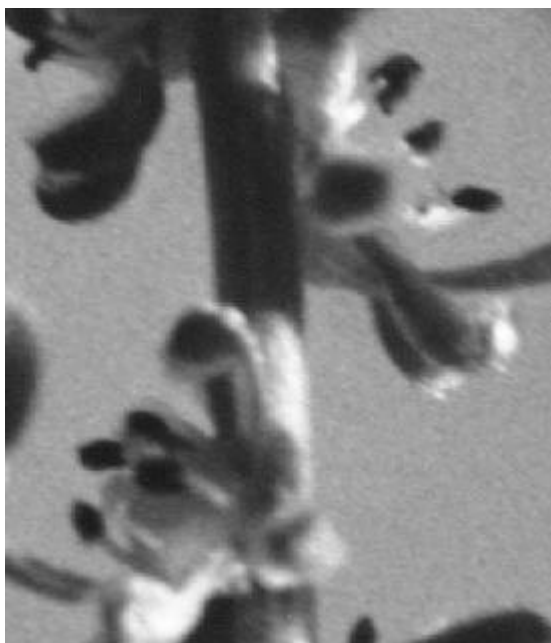
の64%から「NK-195mm-O」の83%まで変異し、4系統の総平均で78%であった(第2表A)。雄性不稔型Gの花は、Wの花よりも多い傾向が見られた。また、「NK-219mm-O」と「NK-235BRmm-O」ではごく僅かであるがY<sub>p</sub>の花が見られ、正常花粉形成の可能性があった。

低温処理期間を70日間に延長すると、雄性不稔花率はすべての系統で90%以上の高い値を示し(第2表B)、全ての系統において、雄性不稔型がWの花の頻度は、30日間処理での頻度よりも1%水準で有意に高かった。雄性不稔型がY<sub>s</sub>の花の比率は、数%程度と低かった。また、いずれの系統においても雄性不稔型がY<sub>p</sub>やY<sub>n</sub>の花は全く観察されなかった。したがって、正常花粉の形成の可能性は無いと判断された。

##### 2) 低温処理個体の葯組織の観察

葯は生育ステージが進むのに伴って伸長するので、葯の長さを生育ステージの目安とし、葯内部の形態を比較した。花粉生育ステージは、葯が長くなるにつれて進み、花粉母細胞から四分体期に至り、無処理葯ではさらに小孢子の形成に至る傾

(A)



(B)



第1図 テンサイのSF系統NK-219mm-Oの着蕾期の低温処理(5 30日間)による雄性不稔花(A)と無処理の正常花(B)

(A)の雄性不稔型:W

向が確認された。同サイズの葯を低温処理と無処理間で比較すると、低温処理により花粉生育ステージの遅れることが観察された（第2図）。その遅れに伴い、葯長が700ミクロンを越えると無処理ではタペート細胞が退化しているのに対し、低温処理ではタペート細胞が残存していた。

第3図に低温処理葯と無処理葯の顕微鏡写真を示した。Bは低温処理葯の切片であるが、四分分子期までしか達せず、タペート細胞層が残存しているのが観察された。一方、Cは無処理葯の切片であるが、既に小孢子期に達しており、発達した小孢子とタペート細胞層の消失が観察された。

低温処理終了直後においては、葯内の小孢子に顕著な形態的異常が見られなかったことから、雄性不稔に至る形態的異常は、低温処理終了後温室

において生育中に顕在化するものと推察された。また、低温処理葯では、無処理葯では小孢子形成に至っているようなサイズの葯でも、四分分子期までしか至っておらず、タペート細胞も残存していたことから、低温条件下では、葯壁細胞に対して小孢子・タペート細胞の活動が停滞するものと推察された。

## 2. 低温処理の温度と期間の影響

前節では着蕾期の低温処理による除雄が実用可能であることが判明した。本節では低温処理期間の短縮を図るため、処理温度および処理期間について検討する。

### 材料および方法

供試系統は、単胚O型のSF系統である「NK-219mm-O」、「NK-229BRmm-O」および「NK-235BRmm-O」

第2表 テンサイのSF系統の低温処理による雄性不稔花率

### A. 5 ・24時間日長 30日間処理

系統名	供試 個体数	観察花数	雄性不稔花数			雄性不稔花率(%)		
			W	G	計	W	G	計
NK-195mm-O	3	40 (32- 47) <sup>1)</sup>	13	21	33 (29- 42)	33	50	83 (69- 91)
NK-219mm-O	7	74 (43-152)	43	21	64 (30-152)	49	34	83 (52-100)
NK-229BRmm-O	6	75 (21-154)	5	44	49 (14-105)	10	54	64 (51- 72)
NK-235BRmm-O	4	36 (24- 57)	2	26	28 (21- 41)	8	72	81 (72- 96)
平均		56	16	28	43	25	53	78

### B. 5 ・24時間日長 70日間処理

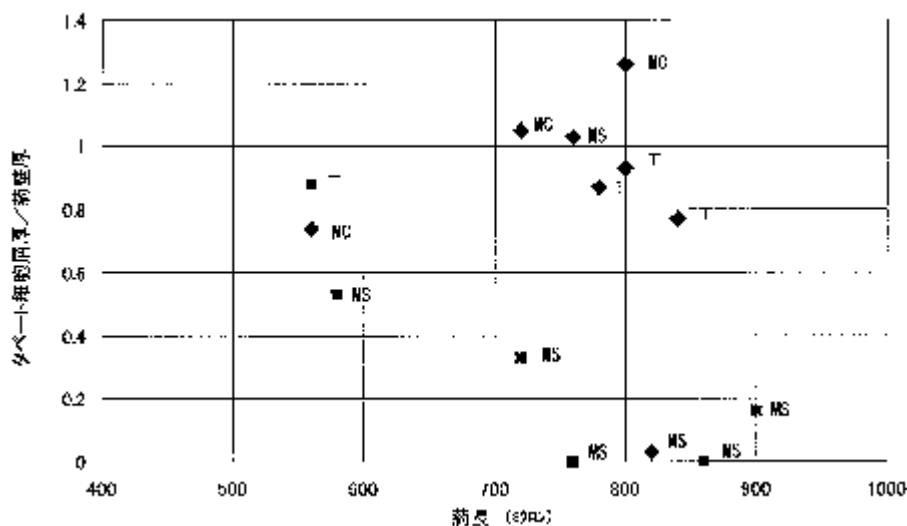
系統名	供試 個体数	観察花数	雄性不稔花数			雄性不稔花率(%)		
			W	G	計	W	G	計
NK-195mm-O	2	59 (51- 67) <sup>1)</sup>	45	11	56 (51- 61)	78	18	96 (91-100)
NK-219mm-O	4	54 (20- 80)	47	7	54 (19- 80)	84	14	99 (95-100)
NK-229BRmm-O	3	55 (33- 94)	38	15	53 (27- 94)	64	28	92 (81-100)
NK-235BRmm-O	7	25 (20- 32)	9	14	23 (14- 31)	35	59	94 (67-100)
平均		48	35	12	47	65	30	95

<sup>1)</sup>: レンジ



である。処理温度は、3 と 5 の 2 水準とし、低温処理期間は20日間、30日間および50日間の 3 水準とした。1998年 4 月16日に各系統を播種し、播種後32日目の 5 月18日から 9 月22日までの127日間、5 24時間日長の低温室において春化处理

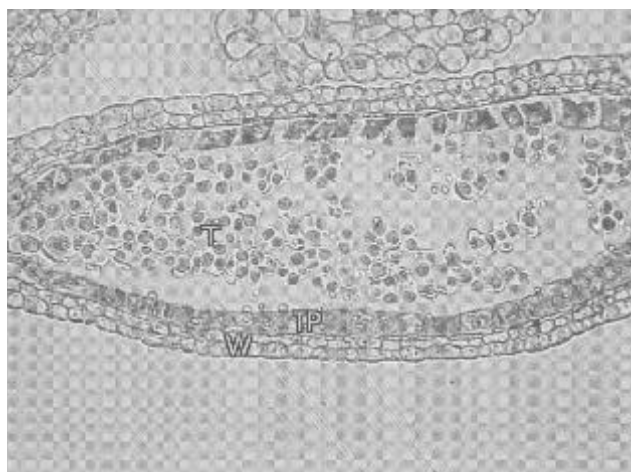
を行った。処理終了後、夜間補光により24時間日長とした温室で生育・抽苔させ、着蕾が始まった10月21日から20日間、30日間および50日間、3 または 5 に温度設定した24時間日長の低温室で低温処理を行った。低温処理後、再び温室の24時



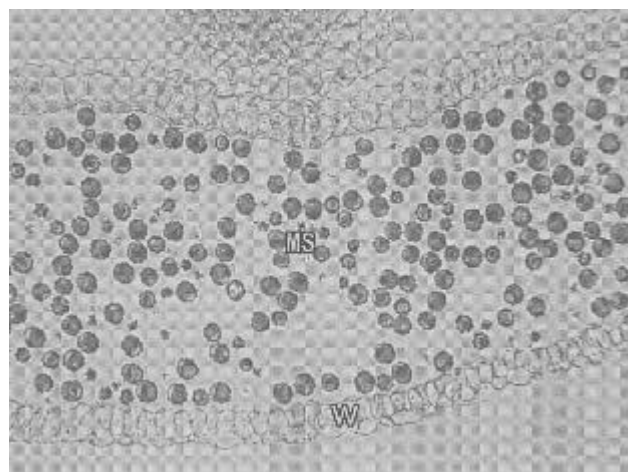
第2図 低温処理(5 30日間)がSF系統NK-219mm-Oの  
葯長とタペート細胞層厚との関係に及ぼす影響

：低温処理葯， ：無処理葯  
MS：小孢子期，T：四分時期，MC：花粉母細胞期  
タペート細胞層厚：切断角度による影響を葯壁厚に対する比で補正

(A)



(B)



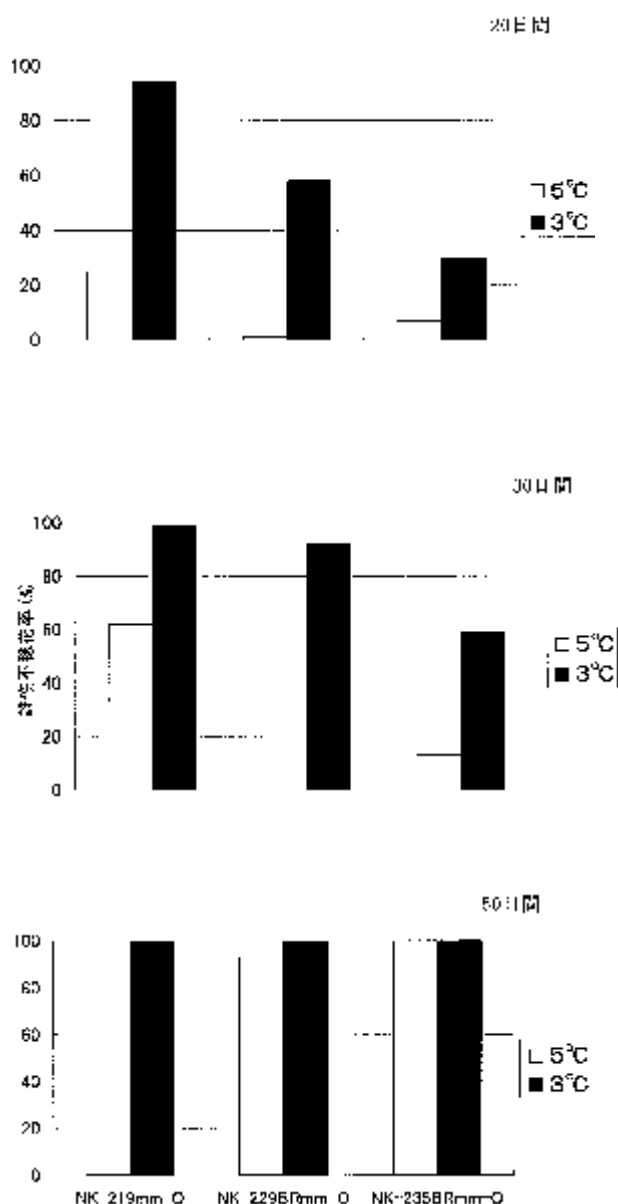
第3図 SF系統NK-219mm-Oの着蕾期の低温処理葯Bと無処理葯Cの内部形態の比較

低温処理条件：5 30日間  
(A) 葯長 800ミクロン，(B) 葯長 860ミクロン  
写真は葯の縦断切片  
T：四分時期，TP：タペート細胞層，W：葯壁，MS：小孢子

間日長条件下で生育させ、開花後に雄性不稔を調査した。雄性不稔の調査は、第1節と同様の方法で行った。

#### 結果および考察

20日間処理および30日間処理では、各系統とも5 処理区に比較して3 処理区で雄性不稔花率が明らかに高かった(第4図)。しかし、低温処理期間を50日にすると、「NK-229BRmm-O」の5 処理区で雄性不稔花率が93%と若干低かったのを除き、いずれの温度処理・系統でも100%の雄



第4図 着蕾期の低温処理による雄性不稔花(WおよびG)の発生率と処理温度および処理期間との関係

性不稔花率を示した。5 処理区では、各系統とも30日以下の処理日数において雄性不稔化が不十分であった。一方、3 処理区では、「NK-219mm-O」は20日間処理で、「NK-229BRmm-O」は30日間処理でそれぞれ90%以上の高い雄性不稔花率が得られた。「NK-219mm-O」においては、3・50日間処理区の一部個体で開花時のがくの展開が不十分であり、低温処理に伴う障害が観察されたものの、3 処理は5 処理よりも短期間で雄性不稔化が図れることが判明した。

#### 3. 低温処理による雄性不稔化におけるO型系統と稔性回復型系統との比較

テンサイの細胞質雄性不稔性には、少なくとも2対の稔性回復遺伝子が関与しているが(今西・武田, 1971), ここでは、低温処理による雄性不稔化と稔性回復遺伝子の遺伝子型との関連を調査するため、同一素材に由来するO型系統と稔性回復型系統とを供試して、雄性不稔化について検討する。

#### 材料および方法

供試系統は、種子親系統を育成するための親集団となる単胚SF系統「T2n-24」, 「N2n-28」および「N2n-36」から、O型個体または稔性回復型個体として、雄性不稔系統との交配結果に基づいて選抜された6材料を用いた。O型個体は、第3表に示すように、今西・武田(1971)による雄性不稔分離型がAで、稔性回復遺伝子型はxxzzである。一方、稔性回復型個体は、雄性不稔分離型がRまたはEで、稔性回復遺伝子型はXXZZまたはXxZZまたはXXZzである。1998年4月16日に各系統を播種して供試個体を養成し、播種後32日目の5月18日から9月22日までの123日間、5 24時間日長の低温室において春化处理を行った。次いで、夜間補光により24時間日長とした温室で生育・抽苔させ、着蕾が始まった10月21日から52日間、5 24時間日長の低温室で低温処理を行った。処理後、再び温室の24時間日長条件下で生育させ、開花後に雄性不稔化程度を調査した。雄性不稔化程度の調査は、第1節と同様の方法で行った。

#### 結果および考察

各系統の雄性不稔花率を第3表に示した。雄性不稔花率は、「T2n-24」, 「N2n-28」および「N2n-36」のいずれから選抜された材料でも、O型系統と稔性回復型系統との間に明確な差が見られず、

稔性回復遺伝子と低温による雄性不稔化との間には関連性は認められなかった。したがって、低温処理による雄性不稔化は、前節に供試したO型系統に特有の現象ではないことが判明した。

#### 4. 低温処理による雄性不稔化を利用した系統間交配の有効性

前節までから、着蕾期の低温処理が雄性不稔化に有効であることが判明した。本節では、同手法を用いて実際に交配を行い、その有効性を検討する。

##### 1) 雄性不稔化したSF系統の他殖率

###### 材料および方法

供試系統は、種子親として、白胚軸（遺伝子型はrr）を有する単胚O型SF系統「NK-219mm-O」を、花粉親として、優性遺伝子（R）をホモ接合型で有する赤胚軸色の「NK-196mm-O」および「NK-150」を用いた。種子親の低温処理期間は、

52日間および74日間とした。1995年7月11日に各系統を播種して供試個体を養成し、播種後58日目の9月7日から翌年1月12日までの127日間、524時間日長の低温室において春化处理を行った。処理終了後、「NK-219mm-O」を夜間補光により24時間日長とした温室で生育・抽苔させ、着蕾が始まった2月8日から524時間日長の低温室で低温処理を行った。処理後、再び温室の24時間日長条件下で生育させ、第4表に示した5組合せの交配を行った。なお、低温処理後に分化した花は花粉稔性を有するため、順次切除した。得られた種子を播種し、実生の胚軸色を調査し、自殖種子か他殖種子であるかを判定した。

###### 結果および考察

雄性不稔花率は、第4表に示したように、3個体では低温処理によりほぼ全ての花が雄性不稔となったが、2個体では雄性不稔花率は55%および

第3表 雄性不稔分離型と低温処理（5250日間）による雄性不稔花率との関係（今西，武田，1971）

系統名	雄性不稔分離型	個体数	雄性不稔花率（%）		
			W	G	計
T2n-24-170	A <sup>1)</sup>	17	51	39	90
T2n-24-74	E <sup>2)</sup>	20	31	38	69
T2n-28-85	A	17	65	35	100
T2n-28-144	R <sup>3)</sup>	18	38	35	73
T2n-36-142	A	13	56	33	90
T2n-36-148	R	8	63	38	100

<sup>1)</sup>: 雄性不稔系統との交配後代で主に雄性不稔個体を分離  
予想される稔性回復遺伝子型はxxzz（O型系統）

<sup>2)</sup>: 雄性不稔系統との交配後代で半不稔個体と稔性個体をほぼ同数分離  
予想される稔性回復遺伝子型はXxZZまたはXXZz

<sup>3)</sup>: 雄性不稔系統との交配後代で主に稔性個体を分離  
予想される稔性回復遺伝子型はXXZZ（稔性回復型系統）

第4表 5の低温処理による雄性不稔化個体と赤胚軸色個体との交配における個体当たり採種種子数と後代の胚軸色

交配組合せ	低温処理 日数	雄性不稔 花数	同率 (%)	採種 種子数	後代の胚軸色別個体数	
					赤胚軸色	白胚軸色
NK-219mm-O×NK-150-1	50	11	55	9	1	0
NK-219mm-O×NK-150-2	50	100	100	11	0	0
NK-219mm-O×NK-196mm-O-1	70	89	99	35	6	0
NK-219mm-O×NK-196mm-O-2	70	33	92	10	2	0
NK-219mm-O×NK-196mm-O-3	70	12	63	8	2	0

63%とやや低かった。これは、低温処理開始時に花の生育ステージが多様な個体を処理したことが原因と考えられた。半不稔および稔性の花を除去して交配した結果、個体当たり8粒から35粒の種子が得られた。発芽した種子数は1から6と、全体的に発芽は不良であった。特に「NK-150」との交配種子20粒では、1個体のみが発芽した。胚軸色を調査した結果、得られた種子はすべて他殖種子と判断された。

## 2) 雄性不稔化したSF系統との交配種子の発芽率

### 材料および方法

供試系統は、種子親として、白胚軸を有する単胚O型SF系統「NK-219mm-O」、「NK-229BRmm-O」および「NK-235BRmm-O」を、花粉親として、「T2n-24」由来系統またはフダンソウの系統「KS6-2」を用いた。種子親の低温処理期間は、30日間および50日間とした。各系統を1998年4月16日に播種して養成し、播種後32日目の5月18日から9月22日までの127日間、5 24時間日長の低温室において春化处理を行った。処理終了後、夜間補光により24時間日長とした温室で生育・抽苔させ、着蕾後の11月22日より30日と50日のそれぞれの期間、3 24時間日長の低温室において低温処理を行った。処理後、再び温室の24時間日長条件下で生育させ、花粉親と交配した。なお、交配方法は、3～5個体の花枝を1つの交配袋に寄せて入れ、袋単位で交配し、採種した。

### 結果および考察

低温処理した花の交配時における雄性不稔型は、全てWであった。花粉親との交配の結果、1交配組合せ当たりで3粒から43粒、個体当たりで0.8から8.1粒の種子が得られた(第5表)。種子の発

芽率は種子親系統により異なったが、平均で46%の発芽率を示し、5 の低温処理(前節の結果)に比較して発芽能力の低下は認められなかった。

3 の低温処理の方が、5 の低温処理よりも処理期間が短縮できることが既に明らかとなっている。したがって、3 の低温処理により、より効率的に低温処理による雄性不稔化を利用した交配を行うことが可能である。

## 3) 雄性不稔化したSF系統と近縁野生種との交配採種

### 材料および方法

供試系統は、種子親として、単胚O型SF系統「NK-185BRmm-O」および「NK-229BRmm-O」の2系統を、花粉親として、Beta maritima L.の一年生野生系統「EG-753201」と「JW31」およびテンサイ一年生系統「EG-753109」の3系統を用いた。1998年1月に各系統を播種して養成し、3月上旬から6月22日までの約110日間、5 24時間日長の低温室において春化处理を行った。夜間補光により24時間日長とした温室で生育・抽苔させ、着蕾が始まった8月7日から10月11日までの65日間、5 24時間日長の低温室において種子親の低温処理を行った。処理後、再び温室の24時間日長条件下で生育させ、花粉親と交配した。なお、3～5個体の花枝を1つの交配袋に寄せて入れ、袋単位で交配し採種した。得られた種子を播種し、7月29日における当年抽苔と未抽苔の株数を調べ、自殖種子か他殖種子であるかを判定した。すなわち、他殖個体は花粉親由来の一年生遺伝子を保有していることにより抽苔するため、抽苔個体が観察された場合、他殖個体とした。

第5表 3 の低温処理による雄性不稔化個体と花粉親(正常個体)との交配における採種種子数と発芽率

交配組合せ	低温処理 日数	調査 個体数	採種 種子数 (総計)	発芽率 (%)
NK-219mm-O × T2n-24-26	30	4	13	15
NK-229BRmm-O × T2n-24-74	30	3	17	41
NK-235BRmm-O × T2n-24-110	30	4	3	100
NK-229BRmm-O × KS6-2	50	5	43	26

## 結果および考察

交配時に各花の雄性不稔性を観察したところ、低温処理を施した花は全てWであり、個体当たりで1～12粒の種子が得られた(第6表)。白胚軸色の系統である「NK-185BRmm-O」の後代は全て赤胚軸色かつ一年生となり、得られた種子はすべて他殖種子と判定された。「NK-229BRmm-O」については後代が得られなかった。

近縁野生種を用いた交配採種実験は、採種量が少なく、発芽も十分ではなかった。これは、花粉親に供した野生種の花粉量が少なく、そのために十分に受精しなかったことが原因と推察された。しかし、本法を利用した交配法は、野生種を用いた交配においても活用できることが明らかとなった。

## 5. 小 括

テンサイにおいて着蕾期の個体を低温処理することにより、雄性不稔化が観察された。5 で50日間の低温処理による雄性不稔花率は高く、しかも雄性不稔性が不完全なYpやYnの花が全く見られなかった。また、処理温度を3 まで下げると、雄性不稔化の程度が増加し、5 処理より処理期間を短縮することができた。また、低温処理による影響は系統によって異なるが、3 で30日間の低温処理を行うことで十分に雄性不稔化できることが判明した。

低温処理個体の葯の形態観察から、雄性不稔に至る形態的異常は低温処理終了後に温室において生育している段階で顕在化すると推察されるとともに、小孢子・タペート細胞が低温処理によって周囲の葯壁細胞との間に生育差を生じることが、雄性不稔化の初期反応としてとらえられ、その生

育差が雄性不稔の誘起機構の一つと考えられる。しかし、その詳細なメカニズムについてはさらに検討が必要であろう。

テンサイの花粉(雄性配偶体)形成に見られた特異的な低温反応は、イネの障害型冷害(SATAKE, 1976)に類似していた。しかし、イネでは12 の低温で4日間処理することにより不稔になるのに対し、テンサイでは5 で50日間または3 で30日間の処理が必要であった。テンサイとイネの間に見られる葯の低温感受性の明らかな差は、種特異的な現象であろう。

低温による雄性不稔化の程度において、稔性回復遺伝子型間に明確な差異が見られなかった。また、低温処理条件によりSF系統間で雄性不稔花率に差が見られたことから、低温処理による雄性不稔化に対し、稔性回復遺伝子系とは異なる遺伝子系が関与しているであろう。

低温処理花に正常な花粉を交配した場合、5 処理および3 処理ともに、1個体当たりの稔実種子数は少なかったが、他殖種子が得られた。手作業による除雄での交配採種結果と低温処理による雄性不稔化での交配採種結果とを同じ種子親系統間で比較したが、両者の間で差はなかった(第7表)。各採種試験の採種量は、特にSF系統を用いた新たな素材系統の作出としては十分な種子量と考えられ、3 処理でも問題がないことが判明した。したがって、手作業による除雄を必要としない、着蕾個体への低温処理による雄性不稔化は、交配採種場面で活用できる有効な交配法と考えられた。しかしながら、低温処理後に発生する花は花粉稔性があるため、そうした不要な花を切除する必要がある。したがって、本法は育種素材の育

第6表 5 の低温処理による雄性不稔化個体と野生種との交配における採種種子数と後代の生育習性

交配組合せ	調査 個体数	採種 種子数	後代の胚軸色別個体数		生育習性	
			赤胚軸色	白胚軸色	1年生	2年生
NK-185BR×EG-753201-1	3	5	-	-	-	-
NK-185BR×EG-753201-2	2	0	-	-	-	-
NK-185BR×JW 31R-2	4	16	9	0	9	0
NK-185BR×JW 31R-3	3	8	1	0	1	0
NK-229BR×JW 31R-3	1	12	-	-	-	-
NK-229BR×EG-753109-1	1	1	-	-	-	-

- : 後代個体が得られず

成等の小規模かつ十分に管理が行き届く採種場を中心にして使用するのが適当であろう。一方、種子の発芽率は系統によって低いことが観察されたが、これが低温処理による影響かどうかは明らかでなく、雌性機能の低下や真正種子形成の異常の可能性も含めて検討が必要であろう。

テンサイにおいて、着蕾期の低温処理による雄性不稔化およびその育種利用についての報告は、これまでなされていなかった。本法は、低温処理による雄性不稔を利用した交配採種法としてはテンサイでは全く新しい手法であるのみならず、除雄作業が困難な作物においても適用が可能と考えられ、作物育種において、育種の効率化が図れる新育種法として期待される。

### ．SF系統間交配による 主要農業形質の遺伝的考察

#### 1．収量および品質形質におよぼす自殖の影響

テンサイは自家不和合性作物であり、SF系統を育種に利用するには、他の自家不和合性作物と同様に自殖に伴う形質の変化を評価することが重要な課題である。また、SF系統間の交配を用いて量的形質の遺伝解析を行うには、供試材料の自殖による影響を予め理解しておくことが必要である。現在、我が国で育成されているSF系統（全て種子親系統に用いられている）については、自殖1回世代( $S_1$ )の個体までは種子増殖のみを行い、 $S_2$ から $S_3$ では収量関連形質に関する個体

選抜を行い、 $S_4$ で系統として選抜し、その自殖種子をバルク採種した $S_5$ を組合せ能力検定のために用いている（八戸ら，1984）。これらのSF系統については、収量・品質関連形質における自殖による影響が未解明であるため、本実験では、 $S_4$ から $S_8$ までに至るSF系統を供試し、収量・品質関連形質における自殖による影響を検討した。

#### 材料および方法

単胚O型SF系統である「T2n-21-16-95」,「T2n-22-14-106」および「NK-202mm-O」の $S_4$ から $S_8$ を供試した。1985年は、各材料毎に4反復の乱塊法により実験を行った。ほ場に直播し、通常栽培法（畦間；55cm，株間；22.5cm，施肥量；N: 11.6， $P_2O_5$ : 24.8， $K_2O$ : 14.0 kg/10a）で養成し、秋季に根部を収穫した。収穫後、根重と根中糖分を測定し、有害性非糖分含量（アミノ-N含量，K含量，Na含量）を、オートアナライザ（テクニコン製 型，KおよびNaの含量は炎光光度計，アミノ-N含量は比色計により測定）により調査した。また、「T2n-21-16-95」の $S_5$ が発芽不良により十分な調査個体数が得られなかったため、1986年に同一の材料を用いて4反復の分割区法で実験を繰り返した。育苗後、ほ場に移植し、通常栽培法で養成し、秋季に収穫した。1987年は、上記の実験とは異なる単胚O型SF系統である「T2n-21-103-80」,「NK-194mm-O」,「NK-196mm-O」および「NK-203mm-O」の $S_4$ ， $S_6$ および $S_8$ を供試した。試験設計は、分割区法の4反復とした。育苗後、

第7表 手作業除雄個体および低温処理による雄性不稔化個体と花粉親（正常個体）との交配における採種種子数の比較

交配組合せ	供試 個体数	種子数		備考
		総数	個体当たり	
手作業除雄個体				
NK-183×NK-185	2	2	1.0	小粒種子
NK-185×NK-183	2	9	4.5	
NK-195×NK-183	2	8	4.0	
低温処理による雄性不稔化個体				
NK-185BR×EG-753201-1	3	5	1.7	
NK-185BR×EG-753201-2	2	0	0.0	
NK-185BR×JW 31R-2	4	16	4.0	
NK-185BR×JW 31R-3	3	8	2.7	

ほ場に移植し、通常栽培法で養成し、秋季に収穫した。

#### 結果および考察

1985年の各形質の調査結果を第8表に示す。根重では、「T2n-21-16-95」のS<sub>4</sub>からS<sub>6</sub>の間、「T2n-22-14-106」のS<sub>5</sub>からS<sub>6</sub>の間で有意な減少が見られ、その他の世代では明らかな減少は見られなかった。「NK-202mm-O」では、根重の差異は明らかでなかった。根中糖分については、「T2n-21-16-95」と「T2n-22-14-106」で明らかな差異は見られず、「NK-202mm-O」では一定した変化の傾向が見られなかった。有害性非糖分については、「T2n-22-14-106」のアミノ-N含量でやや減少の傾向が見られたが、NaやKの含量では一定した変化の傾向は見られなかった。

1986年の調査結果を第9表に示す。根重では、「T2n-21-16-95」および「T2n-22-14-106」のS<sub>4</sub>からS<sub>5</sub>の間で有意に減少したが、「NK-202mm-O」では明らかな差が認められなかった。根中糖分では、各系統とも世代間に有意差は見られなかった。有害性非糖分では、アミノ-N含量は自殖世代が進むにつれて増加の傾向を示し、K含量がS<sub>6</sub>からS<sub>8</sub>がS<sub>4</sub>とS<sub>5</sub>に比較して有意に増加したが、Na含量では自殖世代との明らかな関連は見られなかった。

1987年の調査結果を第10表に示す。根重では、「T2n-21-103-80」のS<sub>6</sub>からS<sub>8</sub>、「NK-194mm-O」のS<sub>4</sub>とS<sub>8</sub>、「NK-203mm-O」のS<sub>4</sub>からS<sub>6</sub>の間で有意に減少したが、その他では明らかな減少は見られなかった。根中糖分では、「T2n-21-103-80」のS<sub>8</sub>

第8表 収量・品質関連形質における自殖の影響 (1985年)

材料名		根重 (トン/10a)	根中糖分 (%)	有害性非糖分含量 (meq/100g)		
系統名	自殖世代			アミノ-N	K	Na
T2n-21-16-95	S <sub>4</sub>	1.73	13.04	4.30	5.13	1.29
T2n-21-16-95	S <sub>6</sub>	1.46	12.57	3.91	5.82	1.59
T2n-21-16-95	S <sub>7</sub>	1.44	12.64	3.91	5.53	1.53
T2n-21-16-95	S <sub>8</sub>	1.35	12.67	4.21	5.76	1.50
LSD (5%)		0.18	-	-	0.41	-
(1%)		0.27	-	-	-	-
T2n-22-14-106	S <sub>4</sub>	2.63	13.73	2.41	4.80	1.58
T2n-22-14-106	S <sub>5</sub>	2.83	13.78	2.54	4.92	1.74
T2n-22-14-106	S <sub>6</sub>	2.32	13.42	2.31	4.55	1.71
T2n-22-14-106	S <sub>7</sub>	2.34	13.66	2.20	4.87	1.72
T2n-22-14-106	S <sub>8</sub>	2.31	13.90	2.17	4.60	1.48
LSD (5%)		0.20	-	0.20	-	-
(1%)		0.28	-	0.27	-	-
NK-202mm-O	S <sub>4</sub>	2.61	13.43	6.49	5.75	1.45
NK-202mm-O	S <sub>5</sub>	2.75	13.51	6.36	5.83	1.43
NK-202mm-O	S <sub>6</sub>	2.68	13.01	6.44	5.51	1.36
NK-202mm-O	S <sub>7</sub>	2.79	13.31	6.49	5.97	1.42
NK-202mm-O	S <sub>8</sub>	2.82	13.16	6.44	5.88	1.43
LSD (5%)		-	0.31	-	0.41	-
(1%)		-	-	-	-	-
3系統の平均	S <sub>4</sub>	2.32	13.40	4.40	5.23	1.44
	S <sub>5</sub>	2.79	13.65	4.45	5.38	1.59
	S <sub>6</sub>	2.15	13.00	4.22	5.29	1.55
	S <sub>7</sub>	2.19	13.20	4.20	5.46	1.56
	S <sub>8</sub>	2.16	13.24	4.27	5.41	1.47

- : 有意差無し

が $S_4$ および $S_6$ に比較して有意に減少したが、他の3系統では、世代間に有意差は見られなかった。有害性非糖分では、アミノ - N含量が、「NK-194mm-O」で自殖世代が進むにつれて増加し、「NK-196mm-O」では、 $S_8$ が $S_4$ および $S_6$ に比較して有意に増加したが、他の系統では世代間に有意差は見られないか、傾向が明らかでなかった。K含量では、「T2n-21-103-80」の $S_8$ が $S_4$ および $S_6$ に比較して有意に増加し、「NK-203mm-O」の $S_6$ および $S_8$ が $S_4$ に比較して有意に減少したが、他の2系統では世代間に有意差はなく、増減の傾向は明らかでなかった。Na含量では、「T2n-21-103-80」の $S_8$ が $S_4$ および $S_6$ に比較し、「NK-194mm-O」では $S_8$ が $S_6$ に比較して有意に減少した。

他殖性作物の自殖の影響に関しては、アルファルファにおいて、WILSIE (1958) が1回の自殖により親系統に比べて生育量が20%から30%低下し、 $S_2$ では50%低下したことを報告している。また、ワタにおいては、MEREDITH (1979) が1回の自殖により収量が大きく減少したが、その後の自殖では減少の程度は小さいことを報告している。テンサイにおいて、SRIVASTAVAら (1989) は、放任交配後に自殖を3回から4回繰り返して育成された材料は、 $F_1 (S_0)$  に比較して、根重ではそれぞれ30%および35%減収したが、根中糖分については自殖の影響は観察されなかったと報告している。藤本 (1971) は、茎葉重において $S_2$ と $S_3$ 、根重、根中糖分、糖量において $S_3$ で減少が明らかであった。

第9表 収量・品質関連形質における自殖の影響 (1986年)

材料名		根重 (トン/10a)	根中糖分 (%)	有害性非糖分含量 (meq/100g)		
系統名	自殖世代			アミノ - N	K	Na
T2n-21-16-95	$S_4$	2.98	16.19	2.32	5.20	0.93
T2n-21-16-95	$S_5$	2.57	16.42	2.16	5.06	0.72
T2n-21-16-95	$S_6$	2.44	16.24	2.36	5.46	0.87
T2n-21-16-95	$S_7$	2.44	15.75	2.69	5.50	1.14
T2n-21-16-95	$S_8$	2.51	16.39	2.67	5.24	0.96
T2n-22-14-106	$S_4$	4.45	16.71	1.75	3.93	0.78
T2n-22-14-106	$S_5$	3.80	16.72	1.94	4.01	0.78
T2n-22-14-106	$S_6$	3.61	16.68	1.92	4.02	0.73
T2n-22-14-106	$S_7$	3.71	16.54	2.03	4.04	0.85
T2n-22-14-106	$S_8$	3.68	16.69	1.98	4.09	0.77
NK-202mm-O	$S_4$	4.51	15.82	3.79	4.25	0.70
NK-202mm-O	$S_5$	4.66	15.60	3.84	4.22	0.74
NK-202mm-O	$S_6$	4.44	15.67	4.04	4.33	0.67
NK-202mm-O	$S_7$	4.49	15.65	3.91	4.35	0.68
NK-202mm-O	$S_8$	4.31	15.59	4.19	4.45	0.65
3系統の平均	$S_4$	3.98	16.24	2.62	4.46	0.81
	$S_5$	3.68	16.25	2.65	4.43	0.75
	$S_6$	3.50	16.20	2.77	4.60	0.76
	$S_7$	3.55	15.98	2.87	4.63	0.89
	$S_8$	3.50	16.23	2.94	4.59	0.79
LSD (5%)	B <sup>1)</sup>	0.14	-	0.13	0.12	0.08
(5%)	B in A	0.25	-	0.22	0.20	0.14
(1%)	B	0.19	-	0.17	0.16	-
(1%)	B in A	0.33	-	0.10	0.27	0.19
F - 検定	B	**	NS	**	**	*
	A x B	**	NS	*	NS	**

<sup>1)</sup> A: 系統間, B: 世代間

\*\*, \*: それぞれ1%水準または5%水準で有意, NS: 有意差無し



たと報告している。

本研究では、実際の種子親系統の育成過程の中で重要と考えられる $S_4$ から $S_8$ までの自殖による影響を、SF系統を用いて調査した。その結果、自殖に伴う減少が根重で認められたが、根中糖分や有害性非糖分のような含有率で示される形質には自殖による影響は認められなかった。これはSRIVASTAVAら(1989)が報告した結果と一致し、SF系統においても、自家不和合性系統の場合と同様に自殖の影響が表れるものと推察された。したがって、テンサイの自殖により最も影響を受けるのは根重であり、さらに根中糖分との積により算出される糖量と考えられる。自殖に伴う根重の減少は、 $S_4$ から $S_5$ までが大きく、それ以後の自殖では低下は少なくなった。現在、我が国で育成されているO型SF系統は、 $S_5$ の増殖種子を実際の一代雑種種子生産のための交配に使用している

場合が多い。抽苔耐性や病害抵抗性をはじめとする選抜をこれらについて実施した場合はさらに世代が進み、 $S_6$ ないしは $S_7$ にまで自殖が進む。したがって、実際の育種場面では、 $S_5$ 以降の材料を用いる限りでは、自殖による影響は大きな問題とはならないと考えられる。また、本実験では、種子量が少ないために $S_3$ 以前の自殖による影響については調査しなかったが、藤本(1971)の結果を勘案すると、自殖に伴う根重の減少は $S_5$ 以前において大きいと考えられる。したがって、根重あるいはそれと関連する糖量について遺伝解析を行う場合は、 $S_5$ 以前の材料では自殖による影響があることを考慮する必要がある。

同時に、実際の種子親系統育成を鑑みると、自殖が系統の組合せ能力に及ぼす影響について解明することも重要である。

第10表 収量・品質関連形質における自殖の影響 (1987年)

材料名 系統名	自殖世代	根重 (トン/10a)	根中糖分 (%)	有害性非糖分含量 (meq/100g)		
				アミノ - N	K	Na
T2n-21-103-80	$S_4$	3.95	15.82	1.53	3.52	0.42
T2n-21-103-80	$S_6$	4.19	15.72	1.42	3.61	0.51
T2n-21-103-80	$S_8$	3.70	15.40	1.61	3.85	0.34
NK-194mm-O	$S_4$	3.73	15.37	1.69	3.37	0.56
NK-194mm-O	$S_6$	3.44	15.35	2.02	3.36	0.58
NK-194mm-O	$S_8$	3.29	15.40	2.16	3.36	0.51
NK-196mm-O	$S_4$	3.08	16.91	1.07	3.67	0.32
NK-196mm-O	$S_6$	2.96	16.90	1.06	3.54	0.30
NK-196mm-O	$S_8$	2.91	16.93	1.33	3.79	0.35
NK-203mm-O	$S_4$	3.39	16.24	0.91	3.35	0.38
NK-203mm-O	$S_6$	3.05	16.36	0.82	3.19	0.35
NK-203mm-O	$S_8$	3.16	16.37	0.84	3.17	0.33
平均	$S_4$	3.54	16.08	1.30	3.48	0.42
	$S_6$	3.41	16.08	1.33	3.42	0.43
	$S_8$	3.26	16.03	1.48	3.54	0.38
LSD (5%)	B <sup>1)</sup>	0.16	-	0.05	0.06	0.03
(5%)	B in A	0.31	0.20	0.10	0.12	0.05
(1%)	B	0.21	-	0.07	0.08	0.04
(1%)	B in A	0.42	0.27	0.13	0.16	0.07
F - 検定	B	**	NS	**	**	**
	A x B	NS	*	**	**	**

<sup>1)</sup> A: 系統間, B: 世代間

\*\*, \*: それぞれ1%水準または5%水準で有意, NS: 有意差無し

## 2. 収量形質および有害性非糖分の選抜効果とそれらの相互関係

テンサイの糖収量に關与する形質として重要である根重および根中糖分の選抜効果については、自家不和合性系統を用いて多くの報告がなされている。藤本（1971）が遺伝的側面からヘテロシスを含めた詳細な報告を行い、長谷川・武田（1973）は栽培環境条件をも含めた選抜効果について報告している。また、根重に比較して根中糖分は選抜効果が高い傾向があり、相加的な遺伝をするとされる（藤本，1971）。

一代雑種育種においては、高い組合せ能力を保有した系統を育成することが必要である。さらに、遺伝率の高い根中糖分や有害性非糖分については、系統自身の特性が優れていることが必要不可欠である。本実験では、SF系統間交配による育成材料を用い、根重および根中糖分の選抜と同時に有害性非糖分に関する選抜を個体単位で行い、多収・高品質系統育成のための基盤を構築しようとした。

また、効率的な高品質系統育成のためには、有害性非糖分の各成分と収量形質との相互関係を解明することが重要である。ここでは、SF系統間の交配により得られた材料を用い、個体単位で有害性非糖分含量と根茎重、ブリックス度を測定し、それら形質間の相互関係を検討した。

### 材料および方法

供試系統は、単胚O型SF系統間で除雄により個体別に交配を行った後に自殖をして育成した「NK-183mm-O×NK-185mm-O」（以下「183x185」）と「NK-195mm-O×NK-185mm-O」（以下「195x185」）である。「NK-183mm-O」と「NK-195mm-O」は多収性、「NK-185mm-O」は高糖・高品質性の系統であり、これら系統の長所を結びつけることを選抜目標とした。「183x185」では、2個体の $F_1$ より育成した37個体の $F_2$ （ $S_1$ ）個体から自殖種子を採種し、等量混合して $F_3$ 集団とした。同様に、「195x185」では、6個体の $F_1$ より育成した38個体の $F_2$ （ $S_1$ ）個体から自殖種子を採種し、等量混合して $F_3$ 集団とした。

「183x185」と「195x185」の各 $F_3$ （ $S_2$ ）の混合種子を供試し、育苗後にほ場に移植して、標準栽培法（前述）により各204株を栽培した。秋季に根部を収穫して抽苔個体や極小個体を除き、個体別に根茎重（根部の他に頸部を含んだ重量）を測

定し、ラスピング（長谷川ら，1973，根部の一部を削り取り圧搾して汁液を採取）により採取した根部汁液のブリックス度を測定した。また、オートアナライザによる有害性非糖分含量の測定結果に基づいて個体選抜を行い、「183x185」からは17個体、「195x185」からは19個体を選抜した。これまでの分析の流れを第5図に示す。なお、有害性非糖分については、3成分の統合的指標である糖蜜糖分の値を重視して個体選抜を行った。糖蜜糖分は、製糖時に糖蜜となる糖分を示し、下記の式により求められる。

$$\text{糖蜜糖分}(\%) = 0.343(K + Na) + 0.094N - 0.31$$

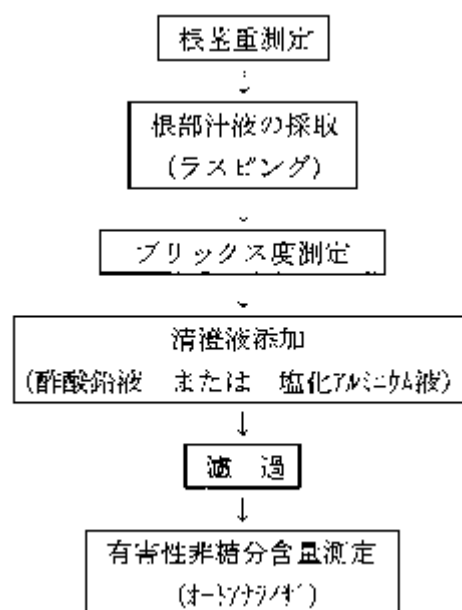
（K，Na，N：それぞれK，Na，アミノ - Nの含量で単位はmeq / 100g）

これは、REINEFELDら（1974）がテンサイの品質評価のための指標として提唱したもので、この値を元に修正糖分が下記のように算出される。

$$\text{修正糖分}(\%) = \text{根中糖分}(\%) - (\text{糖蜜糖分}(\%) + 0.6)$$

修正糖分は、実際に回収しうる糖分の含量を示し、テンサイの生産力検定試験の品質関連項目として一般に用いられている。また、修正糖分に根重を乗じることにより修正糖量が算出される。

選抜母根を温室に栽植して自殖により個体別に採種し、翌年に $F_4$ （ $S_3$ ）を系統別に同様の栽培法により育成し、前年と同様の手法により系統選抜並びに個体選抜を行った。なお、1系統当たりの



第5図 収量特性と品質関連形質の測定の流れ

個体数は27から119の範囲であった。比較系統として、品種「モノホマレ」、および、「183x185」と「195x185」の親系統である「NK-183mm-O」、「NK-185mm-O」、「NK-195mm-O」を供試した。

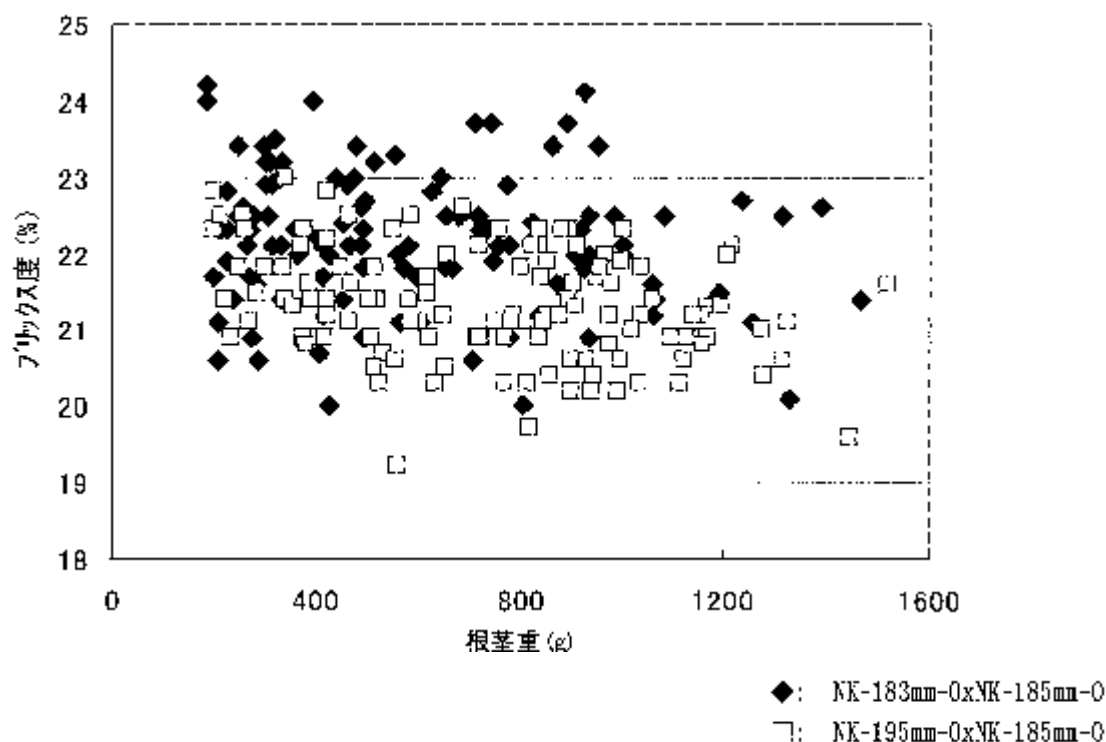
#### 結果および考察

##### 1) 収量形質および有害性非糖分の選抜効果

$F_3(S_2)$ では、集団平均値で「183x185」は「195x185」より根茎重が低く、ブリックス度が高い値を示し、糖分型の特性を示した(第6図、第11表)。系統内の根茎重およびブリックス度の変異を変動係数(C.V.)で比較したところ、「183x185」と「195x185」は根茎重においてそれぞれ52%と41%の値を示し、O型SF系統「N2n-35-8」(「N2n-29」に「TK-103mm-O」を3回、次いで「TK-84mm-O」を2回交配して育成された材料から選抜)の $S_2$ の40%と明らかな差異は認められなかった(第12表)。多くのO型系統の変動係数は、自家不和合性系統とSF系統ともに30%台であった。ブリックス度では、「183x185」と「195x185」は必ずしも高い数値を示さなかった。SF系統と自家不和合性系統との間では、変動係数の差異は観察されなかった。

$F_3(S_2)$ での有害性非糖分含量を、第13表および第7図と第8図に示す。いずれの系統においても、有害性非糖分の各成分の含量には大きな個体間差が見られた。中でもNa含量が最もレンジが大きく、個体間で5倍以上の差があり、含量の個体分布も2系統間で明瞭に異なっていた。「NK-183mm-O」は、有害性非糖分の各成分含量の変動係数が大きかったが、O型系統と $F_3(S_2)$ の2系統とを比較すると、Na含量において後者の方が高い変動係数の値を示した(第14表)。アミノ-NとKの含量の変動係数では明確な差は見られなかった。

「183x185」と「195x185」について、根茎重とブリックス度の高い、すなわち糖収量の優れる個体を選抜し、さらに有害性非糖分含量の低い個体を中心に選抜して後代の採種に供した(第11表、第13表)。この選抜における選抜率は、約15%であった。選抜個体群の有害性非糖分含量は、元集団に比較して低くなった。これらの中から、十分な採種量の得られた後代について、「183x185」では11材料、「195x185」では12材料を供試し、 $F_4(S_3)$ での選抜を行った。



第6図  $F_3(S_2)$ における根茎重とブリックス度の関係 (1989年)

$F_4(S_3)$  の根茎重とブリックス度を第9図に示す。それぞれの選抜後代では、 $F_3(S_2)$  と同様に、「183x185」は「195x185」より根茎重が低

く、ブリックス度が高い値を示した。「195x185」の中には、多収系統の「NK-195mm-O」を上回る根茎重の後代が出現した。一方、ブリックス度で

第11表  $F_3(S_2)$ における根茎重とブリックス度ならびに選抜結果 (1989年)

系統名	供試 個体数	根茎重 (g)			ブリックス度 (%)		
		平均	標準偏差	レンジ	平均	標準偏差	レンジ
183x185 <sup>1)</sup>	116	599	312	189-1467	22.2	0.9	20.0-24.2
183x185 Sel.	17	815	265	395-1389	22.9	0.7	21.6-24.1
選抜個体値	個体番号						
	4	953			23.4		
	5	1234			22.7		
	10	715			23.7		
	27	928			21.8		
	29	925			24.1		
	31	919			22.3		
	34	395			24.0		
	39	463			22.9		
	52	680			22.5		
	69	774			22.9		
	71	1389			22.6		
	74	27			22.8		
	81	1062			21.6		
	87	501			22.7		
	97	745			23.7		
	98	892			23.7		
	105	657			22.5		
195x185 <sup>2)</sup>	123	748	309	199-1522	21.3	0.7	19.2-23.0
195x185 Sel.	19	902	212	590-1522	22.0	0.4	21.2-22.6
選抜個体値	個体番号						
	3	1002			22.3		
	4	689			22.6		
	5	837			22.1		
	13	659			22.0		
	14	854			21.9		
	16	897			21.4		
	22	965			22.0		
	23	1040			21.2		
	24	1060			21.4		
	25	801			21.8		
	27	1522			21.6		
	29	897			22.3		
	33	722			22.1		
	35	844			21.7		
	41	590			22.5		
	88	761			22.3		
	112	884			22.3		
	118	1209			22.0		
	119	906			21.6		

<sup>1)</sup>: NK-183mm-O × NK-185mm-O

<sup>2)</sup>: NK-195mm-O × NK-185mm-O, Sel.: 選抜個体の平均

は、高糖性系統の「NK-185mm-O」と同等の高糖性を示す系統が見られたが、上回る系統は出現しなかった。また、根茎重とブリックス度を各材料についての平均値でみると、「195x185」の根茎重を除き、それぞれの交配親系統の中間値よりも低い値となった(第15表)。また、「183x185」由来系統が高糖性を示した。

F<sub>4</sub>(S<sub>3</sub>)の有害性非糖分含量では、第16表に示すように、アミノ-NとNaの含量において大きな系統間差が見られた。後代の平均値でみると、交配親系統である「NK-183mm-O」、「NK-185mm-O」および「NK-195mm-O」よりも低い含量を示す場合が多く、選抜の効果が認められ、特にNa含量においてその効果が明らかであった。

次に、各成分ごとに含量の分布を第10図から第13図に示す。アミノ-N含量は、「183x185」では、より低含量を示した「NK-185mm-O」よりも低い系統が多く、「195x185」では、より低含量を示した「NK-195mm-O」側に偏って分布した(第10図)。また、K含量は、「183x185」では、より低含量を示した「NK-185mm-O」側に偏って分布し、「195x185」では、より低含量を示した「NK-195mm-O」よりも低い系統が多かった(第11図)。さらに、Na含量は、「183x185」および「195x185」ともに、より低含量を示した親系統よりもさらに低い系統が多かった(第12図)。これらの結果、糖蜜糖分では、「183x185」では低含量の「NK-185mm-O」を中心とする範囲に分布し、「195x185」では両親

系統よりも大幅に低い範囲に分布した(第13図)。また、「モノホマレ」よりも低い値を示す系統がほとんどであり、高品質選抜の効果が認められた(第16表)。

F<sub>3</sub>(S<sub>2</sub>)と同様にF<sub>4</sub>(S<sub>3</sub>)においても「195x185」が多収、「183x185」が高糖性を示したが、これは交配に用いた親系統の特性に起因していると考えられた。すなわち、多収系統である「NK-195mm-O」を片親とする「195x185」の方が、より多収を示したと推察された。有害性非糖分の各成分についても同様に、「183x185」と「195x185」の差は明らかであり、交配に用いた親系統の影響が明確に表れていると推察された。

各形質の変動係数は、交配後代が親系統の数値よりも高い場合があり、遺伝変異の拡大を示唆すると考えられる。同時に、親系統間の変動係数の差も存在し、「NK-183mm-O」は収量・品質関連形質全てにおいて高い変動係数を示し、系統内に比較的個体変異の残っていることが示唆された。

種子親にSF系統を用いる育種方法では、S<sub>3</sub>で個体選抜を終了させ、以後は系統を集団単位で維持していることから、変異が集団内に残ることがあり得る。育成されたSF系統でも赤胚軸色個体と白胚軸色個体の両方を含む系統がある(藏之内, 1989)ことや、抽苔耐性選抜の効果がSF系統でも現れる(北海道農業試験場てん菜部, 1985)ことから裏付けられる。

根茎重に関しては、供試した後代の世代がF<sub>4</sub>

第12表 O型系統とF<sub>3</sub>(S<sub>2</sub>)系統における根茎重とブリックス度の変異

系統名	調査 個体数	根茎重		ブリックス度		自家 不和合性	試験年次
		平均(g)	C.V. <sup>3)</sup> (%)	平均(%)	C.V.(%)		
TK-76-4912mm-O	172	663	36.0	20.4	5.5	I <sup>4)</sup>	1985
NK-172mm-O	169	712	31.2	20.0	4.4	I	1985
NK-183mm-O	156	646	43.6	21.2	5.5	F	1985
NK-183mm-O	56	645	53.0	21.3	5.3	F	1990
NK-185mm-O	52	472	34.1	22.4	4.2	F	1990
NK-195mm-O	56	700	30.1	19.8	4.9	F	1990
N2n-35-8 S <sub>2</sub>	113	408	39.6	19.6	3.5	F	1990
183x185 <sup>1)</sup> F <sub>3</sub> (S <sub>2</sub> )	116	599	52.4	22.2	4.0	F	1989
195x185 <sup>2)</sup> F <sub>3</sub> (S <sub>2</sub> )	123	748	41.4	21.3	3.4	F	1989

<sup>1)</sup>: NK-183mm-O×NK-185mm-O

<sup>2)</sup>: NK-195mm-O×NK-185mm-O

<sup>3)</sup> C.V. は変動係数

<sup>4)</sup> I: 自家不和合性, F: 自家和合性(SF系統)

すなわち自殖3回の $S_3$ であるため、前節の結果と直接比較することはできないが、系統間交配から自殖による影響を考慮すべきであり、親系統より両親系統よりも多収性を示す後代が出現する

 第13表  $F_3(S_2)$ における有害性非糖分含量と糖蜜糖分の選抜結果 (1989年)

系統名	調査 個体数	有害性非糖分含量 (meq / 100g)						糖蜜糖分 <sup>3)</sup> (%)	
		アミノ - N		K		Na		平均	レンジ
		平均	レンジ	平均	レンジ	平均	レンジ		
183x185 <sup>1)</sup>	116	1.00	0.55-2.42	4.17	2.85-6.63	2.47	0.77-3.98	2.06	1.31-3.16
183x185 Sel.	17	0.77	0.55-1.11	4.01	3.23-5.24	2.18	1.42-3.12	1.88	1.48-2.46
選抜個体値	個体番号								
	4	0.80		5.24		2.08		2.28	
	5	0.78		3.94		2.14		1.85	
	10	0.73		3.76		2.16		1.79	
	27	0.56		4.20		3.12		2.25	
	29	0.74		4.20		2.29		1.99	
	31	0.59		4.20		2.59		2.08	
	34	0.73		4.02		1.42		1.63	
	39	0.59		3.96		1.72		1.69	
	52	0.75		3.23		3.05		1.91	
	69	0.84		3.55		1.99		1.67	
	71	1.11		5.09		2.67		2.46	
	74	0.55		3.71		1.76		1.62	
	81	0.77		3.74		2.35		1.85	
	87	0.99		3.50		1.46		1.48	
	97	0.79		3.97		2.29		1.91	
	98	0.84		4.16		1.93		1.86	
	105	0.93		3.65		2.01		1.86	
195x185 <sup>2)</sup>	123	0.87	0.48-1.91	4.22	2.68-5.93	3.77	1.21-6.99	2.51	1.42-3.98
195x185 Sel.	19	0.74	0.53-1.00	3.98	3.30-5.15	2.83	1.54-3.99	2.09	1.42-2.84
選抜個体値	個体番号								
	3	0.80		3.93		2.86		2.09	
	4	0.62		3.67		2.62		1.91	
	5	0.79		3.70		2.66		1.95	
	13	0.77		3.92		2.93		2.11	
	14	0.76		3.87		1.74		1.69	
	16	0.81		3.78		2.41		1.89	
	22	0.53		3.37		1.54		1.42	
	23	0.79		3.35		2.45		1.76	
	24	0.65		3.92		3.02		2.13	
	25	0.74		4.15		2.07		1.89	
	27	0.74		4.46		2.84		2.26	
	29	0.82		4.60		2.53		2.21	
	33	0.89		4.21		2.11		1.94	
	35	0.66		3.96		3.09		2.17	
	41	1.00		3.85		3.99		2.47	
	88	0.65		3.70		3.74		2.31	
	112	0.74		5.15		3.82		2.84	
	118	0.78		4.65		3.88		2.69	
	119	0.56		3.30		3.40		2.04	

<sup>1)</sup>: NK-183mm-O×NK-185mm-O

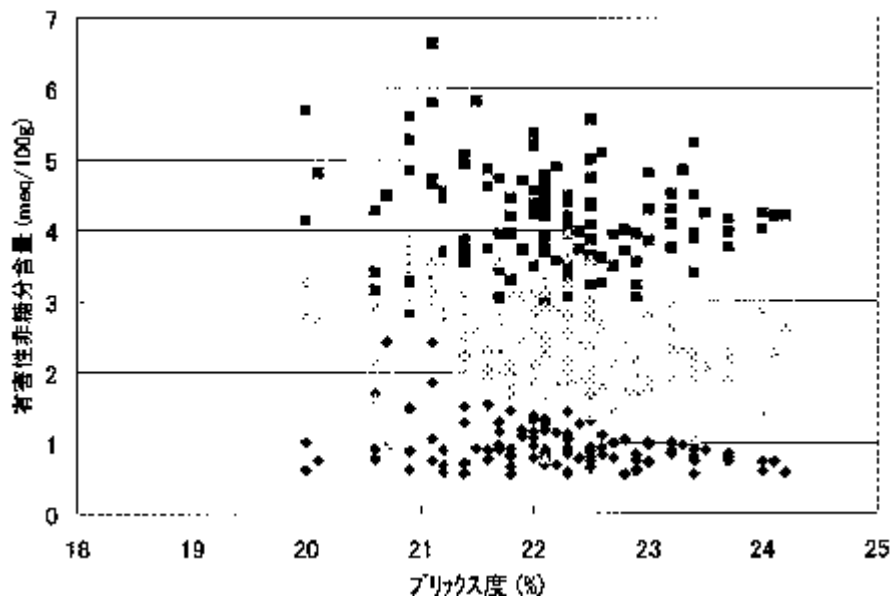
<sup>2)</sup>: NK-195mm-O×NK-185mm-O, Sel.: 選抜個体の平均

<sup>3)</sup> 糖蜜糖分 =  $0.343(K + Na) + 0.094N - 0.31$  (K, Na, N: それぞれK, Na, アミノ - Nの含量で単位はmeq / 100g)

ことは十分期待できると判断された。一方、ブリックス度では、両親系統を凌駕する後代はみられなかった。したがって、高糖性系統を交配により育成する場合は、親系統の選定に当たり高糖性を備えていることを重視すべきと考えられた。

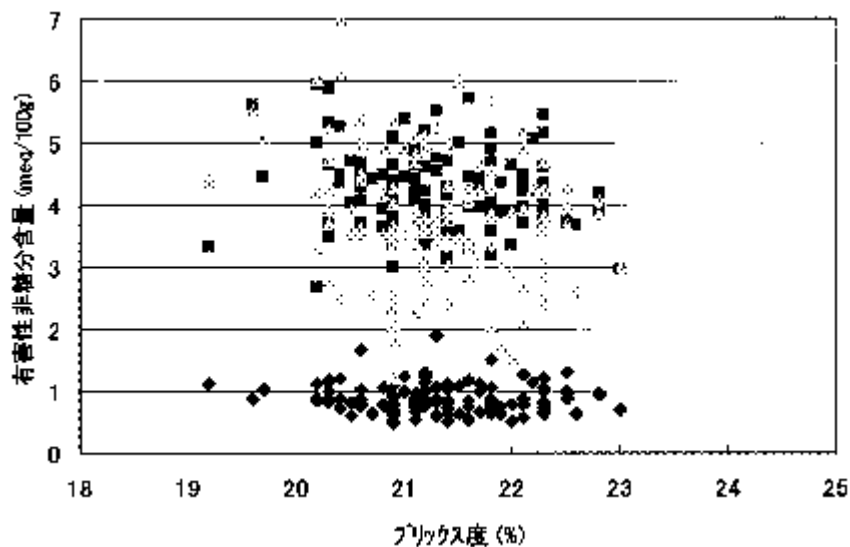
交配に用いた両親系統の品質関連形質特性は、後代の選抜系統にも明らかに表れることが示され、

交配時の親系統選択が優良系統育成上重要であると考えられた。選抜効果については、比較材料の不備のために正確な定量的判定をすることはできなかったが、両親系統および「モノホマレ」よりも明らかに有害性非糖分含量・糖蜜糖分が低い系統が出現したことから、選抜の有効性は明らかであると判断された。なお、有害性非糖分含量の詳細



第7図 NK-183mm-OxNK-185mm-Oの $F_3(S_2)$ におけるブリックス度と有害性非糖分含量との関係 (1989年)

◆: アミノ-N含量, ■: K含量, ○: Na含量



第8図 NK-195mm-OxNK-185mm-Oの $F_3(S_2)$ におけるブリックス度と有害性非糖分含量との関係 (1989年)

◆: アミノ-N含量, ■: K含量, ○: Na含量

細な選抜効果および形質間相関は、以後の項・節で検討する。

以上から、SF系統間交配により、収量・品質関連形質の優れた新系統を育成することが十分に可能であることが示された。一方、収量・品質関連形質について、SF系統間の交配後代による遺伝的検討を行う場合は、SF系統でも系統により個体変異が残存している場合があることに注意する必要がある。

## 2) 有害性非糖分含量と収量形質との相互関係

(1) 主成分分析による選抜系統の特徴の検討  
根茎重、ブリックス度および有害性非糖分含量のデータを用いて、主成分分析により、選抜系統の特徴を検討した。第1主成分と第2主成分による散布図を第14図に示す。第1主成分と第2主成分で寄与率は73%であった。第1主成分( $Z_1$ )は根茎重と正、ブリックス度や有害性非糖分含量のような含量を示す形質とは負の相関を示し、根部

第14表 O型系統と $F_3(S_2)$ 系統における有害性非糖分含量の変異

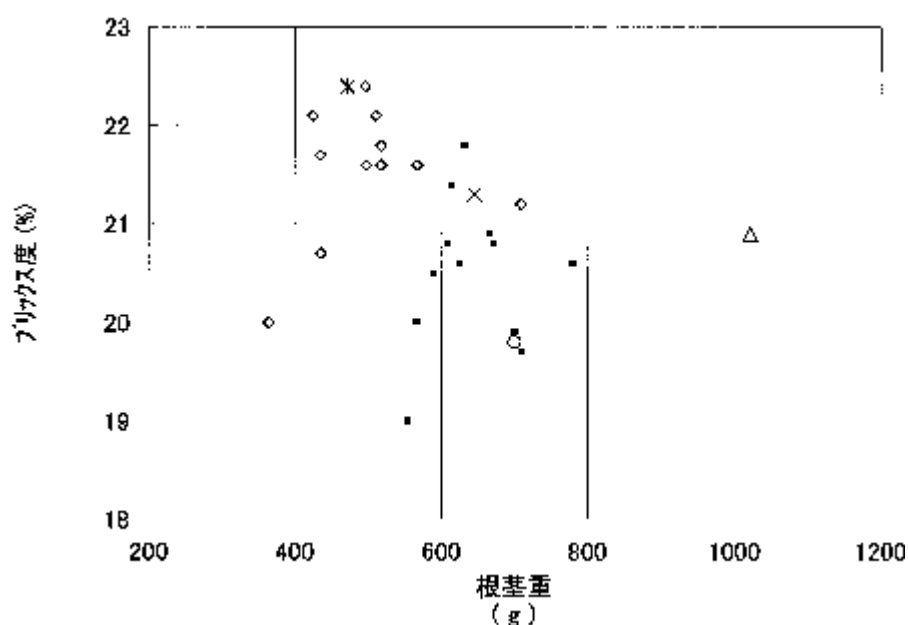
系統名	調査 個体数	有害性非糖分含量 (meq / 100 <sup>mg</sup> )						自家 和合性	試験年次
		アミノ - N		K		Na			
		平均	C.V. <sup>3)</sup> (%)	平均	C.V. (%)	平均	C.V. (%)		
NK-183mm-O	56	1.53	38.2	4.43	20.8	1.36	23.9	F <sup>4)</sup>	1990
NK-185mm-O	52	1.44	29.9	3.31	14.7	1.27	18.8	F	1990
NK-195mm-O	56	0.97	20.4	3.06	11.6	1.74	19.8	F	1990
183x185 <sup>1)</sup> F <sub>3</sub> (S <sub>2</sub> )	116	1.00	38.0	4.17	16.4	2.47	25.5	F	1989
195x185 <sup>2)</sup> F <sub>3</sub> (S <sub>2</sub> )	123	0.87	26.6	4.22	15.2	3.77	27.3	F	1989

<sup>1)</sup>: NK-183mm-O×NK-185mm-O

<sup>2)</sup>: NK-195mm-O×NK-185mm-O

<sup>3)</sup> C.V. は変動係数

<sup>4)</sup> F: 自家和合性 (SF系統)



第9図  $F_4(S_3)$ における根茎重とブリックス度との関係 (1990年)

◇: NK-183mm-O×NK-185mm-O 由来 $F_4(S_3)$ 系統

■: NK-195mm-O×NK-185mm-O 由来 $F_4(S_3)$ 系統

△: モノホマン, ×: NK-183mm-O

\*: NK-183mm-O, ○: NK-195mm-O



の肥大性のような性質を示す成分と考えられた。第2主成分(Z2)はブリックス度と正、その他の形質、特にNa含量とは高い負の相関で、高糖・高品質性に近い性質を示す成分と考えられた。

「NK-183mm-O」はZ1, Z2共に低く、「NK-185mm-O」ではZ2が高く、「NK-195mm-O」ではZ1が高かった。「183x185」由来の系統は、「NK-185mm-O」付近で若干Z1が高い範囲に分布し、「195x185」由来の系統は、Z1が「NK-195mm-O」並でZ2が両親の中間の範囲に分布し、2家系は比較的明確に区別されたが、「183x185」由来の1系統と「195x185」由来の2系統のみが外れて分布していた。これは、低い根茎重・ブリックス度、高

い有害性非糖分含量の系統であったことが原因と考えられた。以上から、交配する親系統により、選抜後代の収量・品質関連形質の特性が大きく影響されることが実証された。

## (2) 根茎重とブリックス度・有害性非糖分含量との相関関係

根茎重とブリックス度との間には、「NK-195mm-O」および交配後代「195x185」のF<sub>3</sub>(S<sub>2</sub>)で負の相関が認められたが、「183x185」およびその両親系統、「モノホマレ」では明らかな相関が認められなかった(第17表)。根茎重とアミノ-N含量との間には、いずれの材料でも相関が認められなかった。根茎重とK含量との間には、「モノ

第15表 選抜されたF<sub>4</sub>(S<sub>3</sub>)における根茎重およびブリックス度 (1990年)

品種・系統名	系統数	根茎重(g)		ブリックス度(%)	
		平均	レンジ	平均	レンジ
モノホマレ		1021		20.9	
NK-183mm-O		645		21.3	
NK-185mm-O		472		22.4	
NK-195mm-O		700		19.8	
<hr/>					
(183x185) <sup>1)</sup> -4		511		22.1	
(183x185)-10		567		21.6	
(183x185)-29		518		21.6	
(183x185)-31		364		20.0	
(183x185)-34		496		22.4	
(183x185)-69		498		21.6	
(183x185)-74		435		21.7	
(183x185)-87		436		20.7	
(183x185)-97		424		22.1	
(183x185)-98		708		21.2	
(183x185)-105		518		21.8	
183x185 平均	11	498	364-708	21.5	20.0-22.4
<hr/>					
(195x185) <sup>2)</sup> -3		590		20.5	
(195x185)-4		608		20.8	
(195x185)-5		780		20.6	
(195x185)-14		625		20.6	
(195x185)-22		672		20.8	
(195x185)-27		710		19.7	
(195x185)-29		555		19.0	
(195x185)-33		700		19.9	
(195x185)-41		614		21.4	
(195x185)-88		567		20.0	
(195x185)-112		666		20.9	
(195x185)-118		632		21.8	
195x185 平均	12	643	555-780	20.5	19.0-21.8

<sup>1)</sup>: NK-183mm-O×NK-185mm-O

<sup>2)</sup>: NK-195mm-O×NK-185mm-O

ホマレ」,「183x185」の $F_3(S_2)$ および「195x185」の $F_3(S_2)$ で正の相関が認められたが,親系統では明らかな相関が認められなかった。根茎重とNa含量との間には,「モノホマレ」,「NK-195mm-O」および「183x185」の $F_3(S_2)$ で正,「183x185」の $F_4(S_3)$ の系統単位で負の相関が認められ,親系統と後代の間で異なる相関関係が見られた。

### (3) ブリックス度と有害性非糖分含量との相関 関係

ブリックス度とアミノ-N含量との間には,「モノホマレ」,「NK-183mm-O」および交配後代「183x185」の $F_3(S_2)$ で負の相関が認められたが,

「NK-195mm-O」および交配後代では明らかな相関が認められなかった(第18表)。ブリックス度とK含量との間には,「モノホマレ」および「NK-183mm-O」で有意な負の相関が認められたが,「NK-195mm-O」および交配後代「195x185」の $F_4(S_3)$ の系統単位で,5%水準では有意とはならなかったものの弱い正の相関が認められた。ブリックス度とNa含量との間には,多くの系統で負の相関関係が認められたが,「NK-185mm-O」と交配後代「195x185」の $F_4(S_3)$ の系統単位では明らかな相関が認められなかった。

第16表 選抜された $F_4(S_3)$ における有害性非糖分含量と糖蜜糖分 (1990年)

品種・系統名	系統数	有害性非糖分含量 (meq / 100g)						糖蜜糖分 <sup>3)</sup> (%)	
		アミノ-N		K		Na		平均	レンジ
		平均	レンジ	平均	レンジ	平均	レンジ		
モノホマレ		1.30		3.98		1.21		1.59	
NK-183mm-O		1.53		4.43		1.36		1.82	
NK-185mm-O		1.44		3.31		1.27		1.40	
NK-195mm-O		0.97		3.06		1.74		1.43	
(183x185) <sup>1)</sup> -4		1.20		4.07		0.97		1.53	
(183x185)-10		1.34		3.73		0.94		1.42	
(183x185)-29		1.10		3.55		1.14		1.40	
(183x185)-31		1.59		4.32		2.40		2.14	
(183x185)-34		1.66		3.82		1.26		1.59	
(183x185)-69		1.28		2.95		1.45		1.32	
(183x185)-74		1.38		3.52		1.05		1.38	
(183x185)-87		1.29		2.93		1.35		1.28	
(183x185)-97		1.03		3.31		1.30		1.37	
(183x185)-98		1.31		3.50		0.70		1.26	
(183x185)-105		1.38		3.41		0.89		1.29	
183x185	11	1.32	1.03-1.66	3.56	2.93-4.32	1.22	0.70-2.40	1.45	1.26-2.14
(195x185) <sup>2)</sup> -3		0.83		2.86		1.40		1.23	
(195x185)-4		1.22		3.04		1.65		1.41	
(195x185)-5		1.28		2.89		1.23		1.22	
(195x185)-14		1.25		2.81		0.74		1.03	
(195x185)-22		1.17		2.73		0.91		1.05	
(195x185)-27		1.09		2.88		1.10		1.16	
(195x185)-29		2.36		3.95		1.86		1.91	
(195x185)-33		1.07		2.73		1.07		1.09	
(195x185)-41		1.74		3.56		1.81		1.70	
(195x185)-88		0.94		2.68		0.94		1.02	
(195x185)-112		1.11		2.81		1.26		1.19	
(195x185)-118		0.99		3.03		1.10		1.20	
195x185	12	1.25	0.83-2.36	3.00	2.68-3.95	1.26	0.74-1.86	1.27	1.02-1.91

<sup>1)</sup>: NK-183mm-O×NK-185mm-O

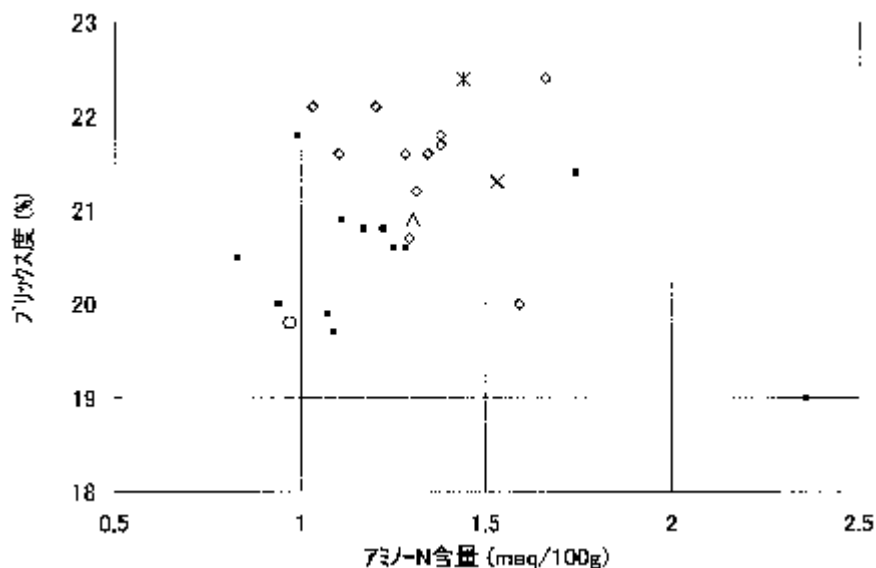
<sup>2)</sup>: NK-195mm-O×NK-185mm-O

<sup>3)</sup> 第13表参照

## (4) 各有害性非糖分含量間の相関関係

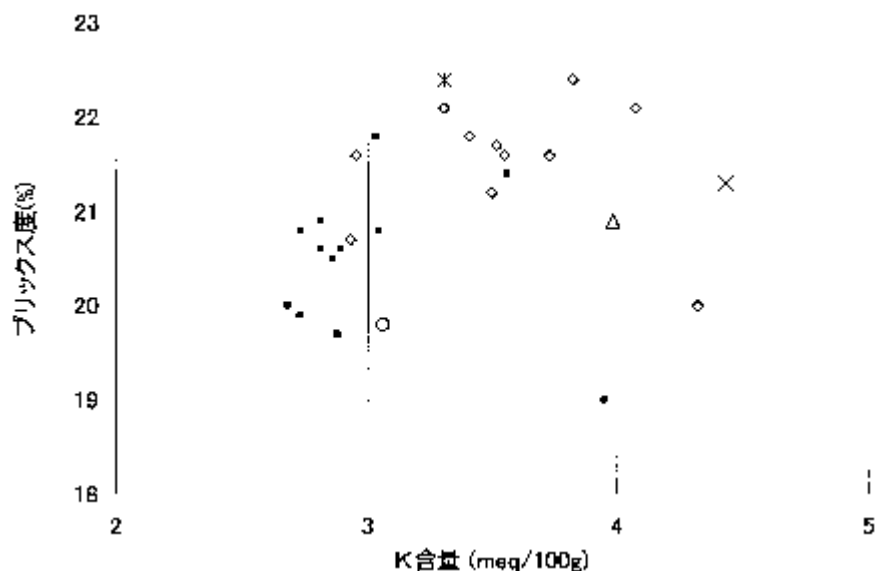
アミノ - N 含量と K 含量との間には、全ての系統で正の相関が認められ、「183x185」の F<sub>4</sub> (S<sub>3</sub>) の系統単位を除いて高度な正の相関を示した(第

19表)。アミノ - N 含量と Na 含量との間には、ほとんどの系統で正の相関がみられ、「モノホマレ」, 「NK-183mm-O」, 「NK-185mm-O」および交配後代「195x185」の F<sub>3</sub> (S<sub>2</sub>) で有意性が認められた。K



第10図 F<sub>4</sub>(S<sub>3</sub>)におけるアミノ - N 含量とブリックス度との関係 (1990年)

◇: NK-183mm-O x NK-185mm-O 由来 F<sub>4</sub>(S<sub>3</sub>) 系統  
 ■: NK-195mm-O x NK-185mm-O 由来 F<sub>4</sub>(S<sub>3</sub>) 系統  
 △: モノホマレ, ×: NK-183mm-O  
 \*: NK-185mm-O, ○: NK-195mm-O



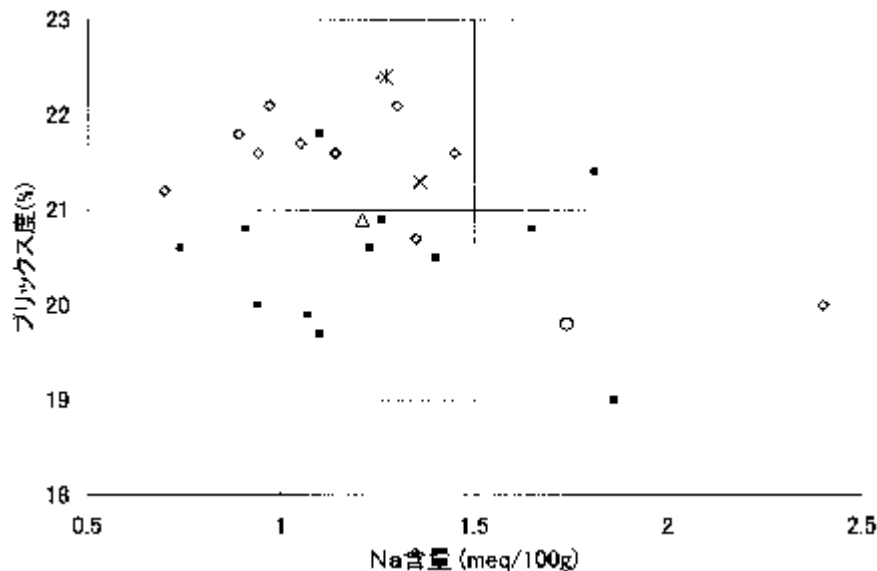
第11図 F<sub>4</sub>(S<sub>3</sub>)における K 含量とブリックス度との関係 (1990年)

◇: NK-183mm-O x NK-185mm-O 由来 F<sub>4</sub>(S<sub>3</sub>) 系統  
 ■: NK-195mm-O x NK-185mm-O 由来 F<sub>4</sub>(S<sub>3</sub>) 系統  
 △: モノホマレ, ×: NK-183mm-O  
 \*: NK-185mm-O, ○: NK-195mm-O

含量とNa含量との間には、「NK-195mm-O」を除き、全ての系統で正の相関が認められた。

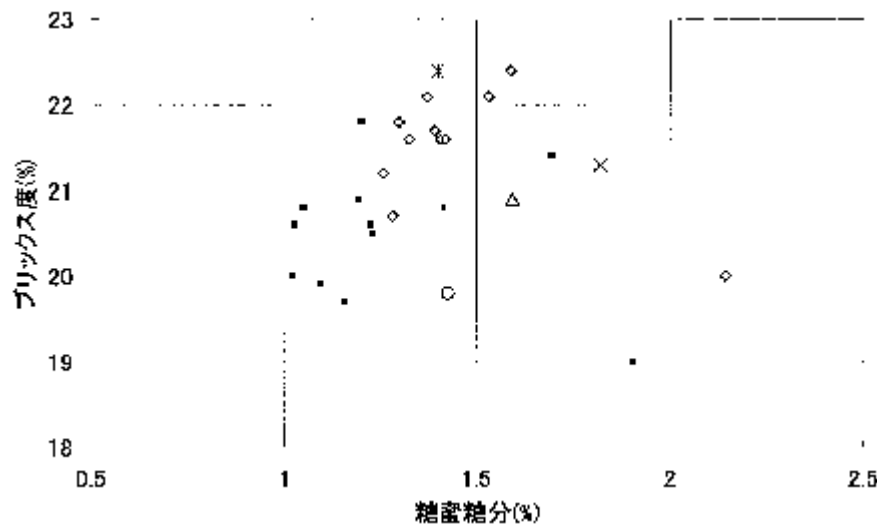
(5) ブリックス度と有害性非糖分含量との相関 関係における交配後代の特徴

「183x185」由来の系統とその両親系統について、ブリックス度と各有害性非糖分の含量相互間に5%水準以上で有意な正の相関が認められたものを実線で、有意な負の相関が認められたものを



第12図  $F_4(S_3)$ におけるNa含量とブリックス度との関係 (1990年)

◇: NK 183mm 0 x NK 185mm 0 由来 $F_4(S_3)$ 系統  
 ■: NK 195mm 0 x NK 185mm 0 由来 $F_4(S_3)$ 系統  
 △: モノハレ, ×: NK 183mm 0  
 \*: NK 185mm 0, ○: NK 195mm 0

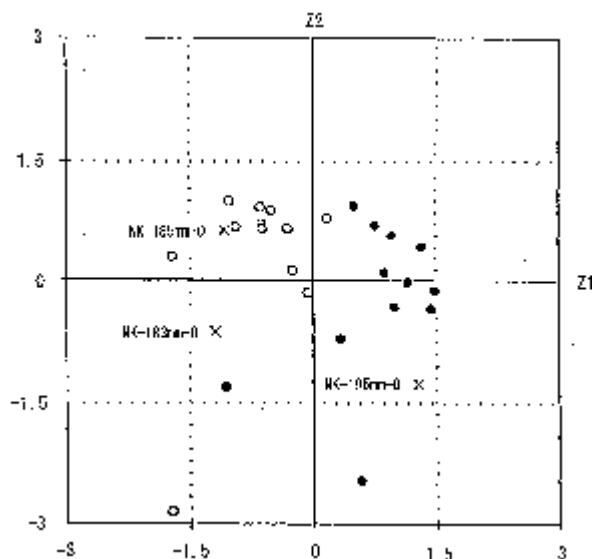


第13図  $F_4(S_3)$ における糖蜜糖分<sup>1)</sup>とブリックス度との関係 (1990年)

◇: NK 183mm 0 x NK 185mm 0 由来 $F_4(S_3)$ 系統  
 ■: NK 195mm 0 x NK 185mm 0 由来 $F_4(S_3)$ 系統  
 △: モノハレ, ×: NK 183mm 0  
 \*: NK 185mm 0, ○: NK 195mm 0

1): 第13表を参照

破線で第15図に示す。また、各系統における各形質間の相関係数を第20表および第21表に示す。両親系統のうち、「NK-183mm-O」はブリックス度と各有害性非糖分の含量間に負、各有害性非糖分含量間に正の相関が認められ、「モノホマレ」と同様であった。もう一方の親である「NK-185mm-O」については、各有害性非糖分の含量相互間の



第14図 主成分分析による選抜系統の区分

○ : NK-183mm-O x NK-185mm-O F<sub>4</sub>(S<sub>3</sub>)  
 ● : NK-195mm-O x NK-185mm-O F<sub>4</sub>(S<sub>3</sub>)  
 × : 親系統

みに正の相関が認められた。それらの交配後代の「183x185」では、F<sub>3</sub>(S<sub>2</sub>)では両親の中間的な相関関係の特徴が認められ、F<sub>4</sub>(S<sub>3</sub>)の系統単位ではブリックス度とNa含量間にのみ負の相関が認められた。F<sub>4</sub>(S<sub>3</sub>)の各系統ごとに相関関係をみると、図示した4系統(「(183x185)-10」,「同-29」,「同-51」,「同-105」)のように、「NK-183mm-O」と同じものから、一部にのみ相関の認められるものまで、系統により異なる特徴が認められた。

同様に「195x185」について相関関係を第16図に示す。両親系統のうち「NK-185mm-O」は「183x185」と共通である。一方の親である「NK-195mm-O」は前述の「NK-183mm-O」とは異なり、2組の形質間にのみ有意な相関関係が認められる特徴的な系統であった。それらの交配後代「195x185」では、F<sub>3</sub>(S<sub>2</sub>)では両親の中間的な相関関係の特徴が、F<sub>4</sub>(S<sub>3</sub>)の系統単位では「NK-185mm-O」に近い相関関係の特徴が認められた。F<sub>4</sub>(S<sub>3</sub>)の各系統ごとに相関関係をみると、図示した4系統(「(195x185)-3」,「同-4」,「同-5」,「同-52」)のように、「NK-195mm-O」と同じものから、「モノホマレ」および「NK-183mm-O」で見られた相関関係に近いものまで、系統ごとに明らかな差がみられた。また、「(195x185)-52」は、ブリックス度とK含量間に有意な正の相関が認められ、特徴的であった。

第17表 SF系統間交配由来材料およびそれらの親系統における根茎重とブリックス度および有害性非糖分含量との相関係数

品種・系統名	対ブリックス度	対アミノ-N含量	対K含量	対Na含量
モノホマレ	-0.093	0.025	0.368**	0.301*
NK-183mm-O	-0.275	-0.040	0.264	0.232
NK-185mm-O	-0.027	-0.092	-0.060	-0.072
NK-195mm-O	-0.359*	0.260	0.010	0.400**
183x185 <sup>1)</sup>				
F <sub>3</sub> (S <sub>2</sub> )	-0.158	0.057	0.419**	0.211*
F <sub>4</sub> (S <sub>3</sub> )(系統単位)	0.220	-0.104	-0.088	-0.736**
195x185 <sup>2)</sup>				
F <sub>3</sub> (S <sub>2</sub> )	-0.308**	0.098	0.421**	0.121
F <sub>4</sub> (S <sub>3</sub> )(系統単位)	-0.254	0.175	-0.127	0.039

\*\* , \* それぞれ1%水準または5%水準で有意

<sup>1)</sup>: NK-183mm-O x NK-185mm-O

<sup>2)</sup>: NK-195mm-O x NK-185mm-O

ブリックス度とK含量との相関関係は、系統による差異が明瞭に見られた。両親系統は、第17図に示すようにそれぞれ異なった分布を示し、「NK-183mm-O」は高K含量、「NK-185mm-O」は高ブリックス度・やや低K含量、「NK-195mm-O」は低ブリックス度・低K含量が特徴であった。「NK-183mm-O」はいずれの値も変異が大きく、「NK-185mm-O」はいずれの値も変異が小さく、「NK-195mm-O」はブリックス度の変異がやや大きく、K含量の変異が特に小さかった。

ブリックス度とK含量間の相関関係で、「183x185」由来系統中で最も多く見られた相関関係の例として「(183x185)-10」を、「195x185」由来系統中の同様の例として「(195x185)-5」を第18図に示す。いずれの系統もブリックス度については両親の中間、K含量については両親の中間ないしは低含量に分布した。「(183x185)-10」は「NK-183mm-O」と同じくブリックス度とK含量間に負、「(195x185)-5」は「NK-195mm-O」と同じく正の相関関係が観察された。

第18表 SF系統間交配由来材料およびそれらの親系統におけるブリックス度と有害性非糖分含量の相関係数

品種・系統名	対アミノ - N含量	対K含量	対Na含量
モノホマレ	-0.305*	-0.294*	-0.554**
NK-183mm-O	-0.286*	-0.384**	-0.536**
NK-185mm-O	0.024	0.054	-0.154
NK-195mm-O	-0.009	0.260	-0.384**
183x185 <sup>1)</sup>			
F <sub>3</sub> (S <sub>2</sub> )	-0.289**	-0.189	-0.348**
F <sub>4</sub> (S <sub>3</sub> )(系統単位)	-0.273	-0.128	-0.621*
195x185 <sup>2)</sup>			
F <sub>3</sub> (S <sub>2</sub> )	-0.068	-0.183	-0.221*
F <sub>4</sub> (S <sub>3</sub> )(系統単位)	0.316	0.528	0.052

\*\* , \* それぞれ1%水準または5%水準で有意

<sup>1)</sup>: NK-183mm-O × NK-185mm-O

<sup>2)</sup>: NK-195mm-O × NK-185mm-O

第19表 SF系統間交配由来材料およびそれらの親系統における有害性非糖分含量相互の相関係数

品種・系統名	アミノ - N含量対K含量	アミノ - N含量対Na含量	K含量対Na含量
モノホマレ	0.635**	0.239	0.482**
NK-183mm-O	0.550**	0.354*	0.547**
NK-185mm-O	0.451**	0.281*	0.591**
NK-195mm-O	0.367**	0.205	-0.028
183x185 <sup>1)</sup>			
F <sub>3</sub> (S <sub>2</sub> )	0.306**	0.037	0.399**
F <sub>4</sub> (S <sub>3</sub> )(系統単位)	0.447	0.367	0.303
195x185 <sup>2)</sup>			
F <sub>3</sub> (S <sub>2</sub> )	0.369**	0.412**	0.422**
F <sub>4</sub> (S <sub>3</sub> )(系統単位)	0.769**	0.436	0.652*

\*\* , \* それぞれ1%水準または5%水準で有意

<sup>1)</sup>: NK-183mm-O × NK-185mm-O

<sup>2)</sup>: NK-195mm-O × NK-185mm-O

CAMPBELLら(1983)は、11品種を6カ所で栽培し、根重と有害性非糖分含量との間に正、根中糖分と有害性非糖分含量との間に負、各有害性非糖分含量間に正の相関を認め、POWERSら(1959; 1962)も同様の結果を報告している。本実験においても、「モノホマレ」や「NK-183mm-O」等でみられた相関関係の特徴は、それらの結果とほぼ一致した。一方、RYSERら(1959)は、根中糖分とNa含量間には高い負の相関があるが、遺伝子型の差が決定的で、高糖性でもNa含量の高い系統のあることを報告している。牧田(1964)もブリックス度とNa含量間について高い負の相関を認めると同時に、根茎重とNa含量、Na含量とK含量の相関関係が後代で異なることを報告している。FINKNERら(1956)も、根中糖分とNa含量との負の相関関係は破られうると報告している。HACら(1952)は、アミノ-Nの一成分であるグ

ルタミン酸の含量と根重、根中糖分との相関関係を調査し、系統全体ではグルタミン酸含量が根重との間に正、根中糖分との間に負の相関を認めているが、系統ごとにみると大きく異なった相関関係を報告している。本実験において、ブリックス度とK含量の間に異なる相関関係が認められたことは、これら形質間の相関関係が系統および環境により複雑に変化することを示していると考えられた。また、特徴的な相関関係のみられた「NK-195mm-O」と「NK-185mm-O」の交配後代である「195x185」の中に親系統に類似した特徴を持つものがみられるなど、形質により遺伝子型相関の存在が示唆された。形質間の相関関係は、ほとんどの系統で類似した相関関係がみられる形質と、系統によって大きく異なる相関関係のみられる形質が存在した。前者の例としては、ブリックス度とNa含量、アミノ-N含量とK含量であり、後者

第20表 SF系統間交配由来材料におけるブリックス度と有害性非糖分含量の相関係数

品種・系統名	対アミノ-N含量	対K含量	対Na含量
(183x185) <sup>1)</sup> -10	-0.446**	-0.338**	-0.379**
(183x185)-29	-0.326*	-0.071	-0.281
(183x185)-51	-0.424	-0.371	-0.595**
(183x185)-105	-0.357	-0.033	-0.210
(195x185) <sup>2)</sup> -3	-0.247*	-0.067	-0.745**
(195x185)-4	-0.256*	-0.239*	-0.596**
(195x185)-5	-0.155	0.261	-0.592**
(195x185)-52	-0.041	0.388**	-0.528**

\*\* , \* それぞれ1%水準または5%水準で有意

<sup>1)</sup>: NK-183mm-O×NK-185mm-O

<sup>2)</sup>: NK-195mm-O×NK-185mm-O

第21表 SF系統間交配由来材料における有害性非糖分含量相互の相関係数

品種・系統名	アミノ-N含量対K含量	アミノ-N含量対Na含量	K含量対Na含量
(183x185) <sup>1)</sup> -10	0.791**	0.359**	0.526**
(183x185)-29	0.830**	0.641**	0.577**
(183x185)-51	0.755**	0.384	0.694**
(183x185)-105	0.417*	0.212	0.372
(195x185) <sup>2)</sup> -3	0.724**	0.396**	0.343**
(195x185)-4	0.274*	0.113	0.429**
(195x185)-5	0.612**	0.028	-0.136
(195x185)-52	0.400**	-0.149	-0.155

\*\* , \* それぞれ1%水準または5%水準で有意

<sup>1)</sup>: NK-183mm-O×NK-185mm-O

<sup>2)</sup>: NK-195mm-O×NK-185mm-O

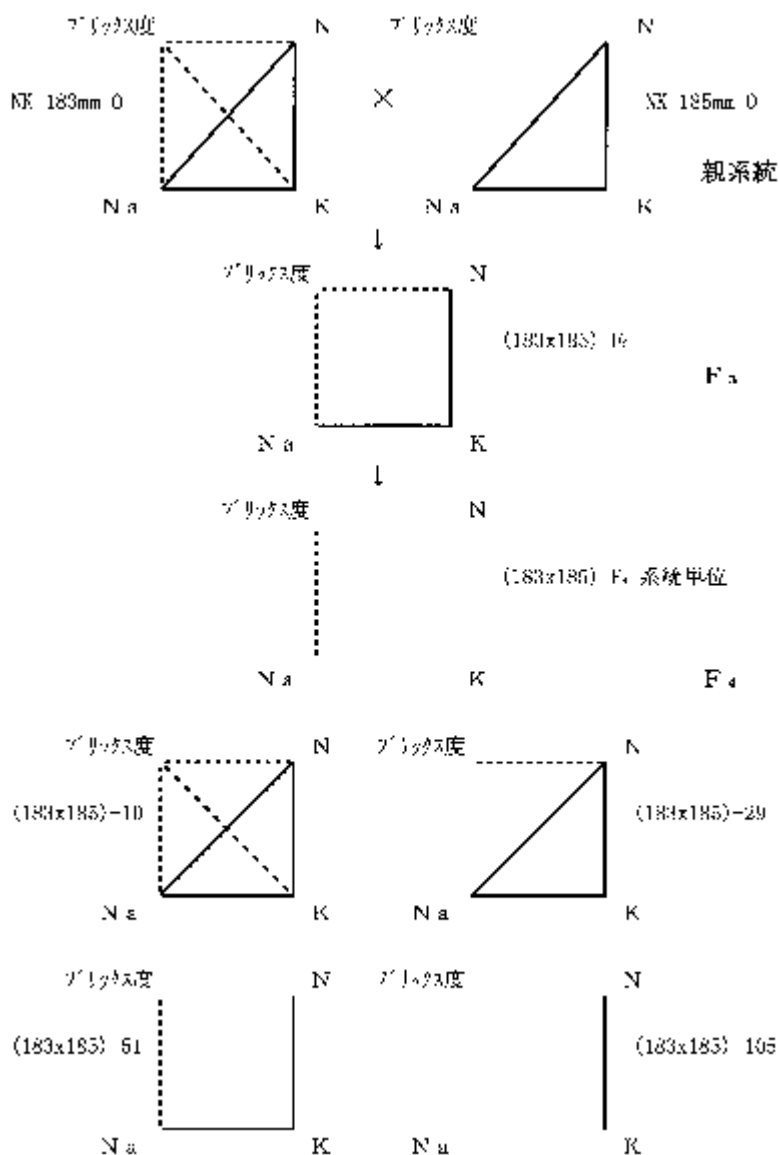
の例としては、ブリックス度とK含量が挙げられる。

従来から行われていた高ブリックス度への選抜は、有害性非糖分の中ではNa含量の低下に対しても副次的効果を持つと考えられる。しかし、アミノ-NとKの含量については、ブリックス度との間に負の相関を示さない系統が存在したことから、これら成分の低下に対する副次的選抜効果は必ずしも期待できず、これら成分の含量自身を

測定して個体選抜を行うことが有効であろう。

### 3. 有害性非糖分の簡易測定法による選抜の効果と相関反応

我が国のテンサイ育種では、有害性非糖分に関しては、種子親系統または花粉親系統が育成された段階で、系統単位での測定と評価をしてきた。有害性非糖分含量の低い、換言すれば高品質な系統を積極的に育成するためには、交配後代の初期世代で個体選抜が必要であろう。そのためには、



第15図 NK-183mm-OxNK-185mm-Oにおけるブリックス度と有害性非糖分含量との相関関係

Na:Na-N含量, K:K含量, Na:Na含量

—: 5%水準で正の相関関係

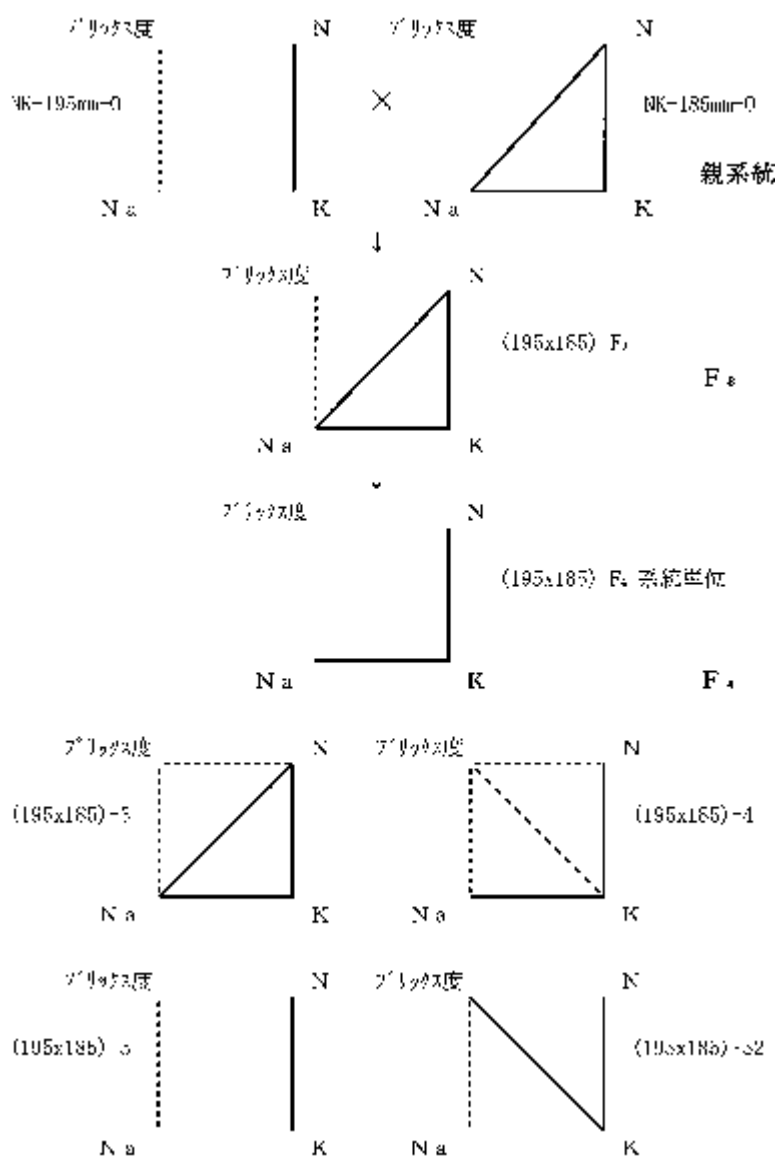
---: 5%水準で負の相関関係



有害性非糖分含量の簡便な測定法を確立する必要がある。

簡便に有害性非糖分含量を測定できる方法として、根部汁液の電気伝導率 (EC = Electrical conductivity) 測定がある。電気伝導率は、KとNaの含量の合計値との間に高い正の相関のあることが報告され (BOSEMARK, 1964, 牧田・中島, 1973), 電気伝導率を用いた個体選抜は欧米各国で実施されてきた (牧田・中島, 1973) が、我が

国では実施されていなかった。測定機器の精度や測定速度が近年急速に向上したため、実際の育種における個体選抜の場面で活用できる状況になった (藏之内, 1997)。電気伝導率の測定は、オートアナライザでの測定と比較し、機器の操作が簡単で、試薬調整が不要であり、測定時間も短いという長所がある。有害性非糖分の簡易測定法として電気伝導率を用い、有害性非糖分の選抜効果を検証した。



第16図 NK-195mm-OxNK-185mm-Oにおけるブリックス度と有害性非糖分含量との相関関係

Y:ブリックス度, X:有害性非糖分含量, Na:Na含量

—: 5%水準で正の相関関係

---: 5%水準で負の相関関係

### 材料および方法

SF系統の「N2n-35」(「N2n-29」に「TK-103mm-O」を3回、次いで「TK-84mm-O」を2回交配して育成)に由来する $S_2$ の4系統およびSF系統「N2n-29」(SF系統「TA-41」に「TA-37」由来単胚系統を2回、「TA-30」由来単胚系統を1回交配して育成された単胚系統より選抜)に由来する $S_2$ の1系統を供試した。「N2n-35」と「N2n-29」は、米国より導入された単胚系統またはその選抜系統に欧州より導入された多胚系統を交配して育成された単胚系統から、O型個体選抜を経て育成された系統で、O型SF系統を育成するための親集団となる系統であり、系統内の個体変異が比較的大きい。

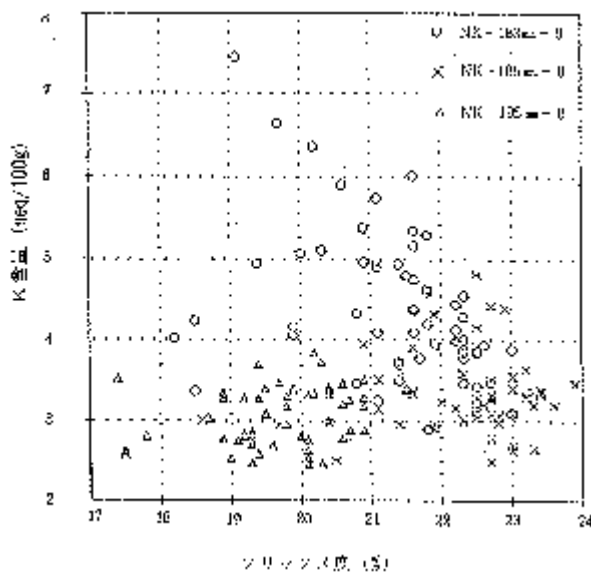
「N2n-35」由来系統については、1990年に各系統につき60から100個体を育苗後、ほ場に移植して標準栽培(前述)し、秋季に根部を収穫後、根茎重測定、ラスピング(前述)によるブリックス度測定、小型電気伝導率計(堀場社製 C-173型、第22表参照)による電気伝導率の測定を行った。その結果に基づき、各系統について電気伝導率の低方向と高方向に数個体を選抜した。さらに、選抜母根からは、温室において袋掛けをし、自殖により個体別に採種した。1991年、後代を標準栽培し、収穫期に根茎重、ブリックス度および電気伝

導率を測定した。なお、一部の後代はオートアナライザによる有害性非糖分含量の測定を行い、有害性非糖分含量による選抜効果も検証した。

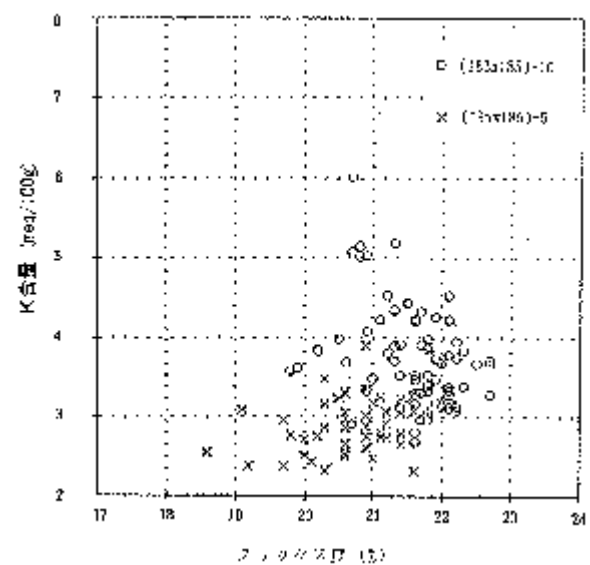
「N2n-29」由来系統については、1991年に129個体を育苗後、ほ場に移植して標準栽培し、秋季に根部を収穫後、上記の系統と同様に根茎重、ブリックス度、電気伝導率の測定を行い、その結果に基づいて電気伝導率の低方向と高方向へ数個体を選抜した。さらに選抜母根からは、温室において袋掛けをし、自殖により個体別に採種した。1992年、後代を系統別に同様の栽培法により養成し、根茎重測定、ブリックス度測定、電気伝導率の測定を行った。各年とも、比較系統として標準品種「モノホマレ」または高品質品種「モノヒカリ」を供試した。

### 結果および考察

「N2n-35」由来系統および選抜対象個体の電気伝導率、根茎重、ブリックス度を第23表に示す。各系統の変動係数を見ると、「N2n-35-285」は各形質とも数値が大きく、一方「N2n-35-351」は各形質とも数値が比較的小さく、系統により変異の程度に差が見られた。それぞれの系統について電気伝導率の低い個体を中心に選抜し、比較のために一部の系統については高い個体も選抜した。選抜個体の多くは、電気伝導率の低い個体はブリッ



第17図 親系統NK-183mm-O, NK-185mm-O およびNK-195mm-Oにおけるブリックス度とK含量との関係 (1990年)



第18図 選抜後代系統におけるブリックス度とK含量との関係 (1990年)

クス度が高く、電気伝導率の高い個体はブリックス度が低く、根茎重が大幅に高い傾向を示した。

後代の選抜効果を第24表に示す。「N2n-35-351」の選抜後代は「モノヒカリ」並に電気伝導率が低かった。電気伝導率の低方向に選抜した後代は、「N2n-35-105」では3系統全て、「N2n-35-285」では2系統中の1系統が、高方向に選抜した後代よりも電気伝導率が有意に低く、電気伝導率の選抜効果は明らかに認められた。また、電気伝導率の低方向に選抜を行うと、ブリックス度が高くなり、逆に高方向の選抜ではブリックス度は低下するものの、根茎重が高まる傾向が有害性非糖分含量の選抜の場合（後述）と同様に見られた。選抜時の変動係数と選抜反応との間には関連性は認められ

なかった。

一方、電気伝導率による評価に基づいて選抜を行った系統の一部について、オートアナライザによる有害性非糖分含量の測定を行った結果、アミノ - N 含量は全体的に高い傾向にあり、それらは電気伝導率の低および高方向の選抜を行った双方について認められた（第25表）。「N2n-35-351-77」は、K や Na の含量は標準品種「モノホマレ」並に低いが、アミノ - N 含量は極めて高く、糖蜜糖分値も高かった。

「N2n-29」由来系統における電気伝導率による選抜結果を第26表に示す。「N2n-29-138」のブリックス度と電気伝導率の変動係数は、「N2n-35」由来系統と比較するとやや大きかった。電気伝導率の低方向および高方向への選抜をそれぞれ行ったが、選抜個体の多くは、電気伝導率の低い個体はブリックス度が高く、電気伝導率の高い個体はブリックス度が低く根茎重が高い傾向であった。後代（S<sub>3</sub>）の選抜効果を第27表に示す。「N2n-29-138」は電気伝導率による選抜効果が「N2n-35」由来系統よりも明らかでないものの、電気伝導率の低方向に選抜した後代は、6系統のうち4系統が

第22表 試験に供した電気伝導率計の規格・性能

形式	C-173 (堀場社)	DS-15 (堀場社)
測定範囲	0 ~ 19.9ms / cm	0 ~ 199.9ms / cm
測定精度	± 2 %	± 0.05 %
寸法 (mm)	95 × 55 × 9	240 × 256 × 71
付属装備		プリンタ, RS-232C
測定可能標本	原液	希釈液, 原液

第23表 N2n-35における根部汁液の電気伝導率による選抜時の電気伝導率、根茎重およびブリックス度 (1990年)

品種・系統名	個体数	電気伝導率 (ms / cm)	根茎重 (g)	ブリックス度 (%)
モノヒカリ	83	2.01 (17.4) <sup>1)</sup>	804 (36.9)	20.5 (4.9)
N2n-35-105 S <sub>2</sub> <sup>2)</sup>	96	2.12 (20.3)	394 (52.7)	21.1 (3.1)
低電気伝導率選抜個体	3	2.07	562	21.5
高電気伝導率選抜個体	1	3.60	987	19.9
N2n-35-109 S <sub>2</sub>	57	2.74 (15.3)	411 (28.8)	20.1 (4.8)
低電気伝導率選抜個体	2	2.45	573	21.3
N2n-35-285 S <sub>2</sub>	96	3.41 (22.3)	548 (50.6)	17.6 (5.5)
低電気伝導率選抜個体	2	2.80	776	18.7
高電気伝導率選抜個体	1	5.50	1134	16.0
N2n-35-351 S <sub>2</sub>	86	1.77 (11.9)	260 (34.6)	20.5 (2.9)
低電気伝導率選抜個体	3	1.40	462	21.3

<sup>1)</sup>: 変動係数 (%)

<sup>2)</sup>: S<sub>2</sub>は自殖2回の世代

高方向に選抜した後代よりも電気伝導率が有意に低かった。また、比較品種の値を勘案しつつ、第26表と第27表に示した変動係数を比較すると、選抜後代では各形質の変動係数が低くなり、特に電気伝導率で変動係数が低くなった。

オートアナライザを用いた有害性非糖分含量の測定と比較すると、電気伝導率の測定は簡便かつ迅速に行えるため、有害性非糖分含量の簡易測定法として活用できると考えられる。特に、測定個体数の多い選抜初期世代の材料では、電気伝導率

第24表 N2n-35における根部汁液の電気伝導率による選抜後代の電気伝導率、根茎重およびブリックス度（1991年）

品種・系統名	個体数	電気伝導率 (ms/cm)	同左 (選抜時)	根茎重 (g)	ブリックス度 (%)
モノホマレ	63	2.18 (18.7) <sup>1)</sup>		657 (49.0)	21.8 (6.7)
モノヒカリ	66	1.80 (11.1)	2.0	711 (33.7)	21.9 (2.4)
N2n-35-105-6 $S_3^{2)}$ L <sup>3)</sup>	90	2.39** (15.4)	2.2	329 (38.8)	20.5 (2.8)
N2n-35-105-9 $S_3$ L	93	2.55** (16.0)	2.2	243 (39.2)	19.8 (3.0)
N2n-35-105-61 $S_3$ L	57	2.64** (17.1)	1.8	262 (37.9)	19.6 (2.9)
N2n-35-105 $S_3$ L 平均		2.50	2.1	278	20.0
N2n-35-105-77 $S_3$ H	43	3.65 (20.1)	3.6	299 (35.7)	18.9 (4.2)
N2n-35-109-10 $S_3$ L	83	2.93 (16.3)	2.3	406 (33.1)	20.6 (6.7)
N2n-35-109-34 $S_3$ L	123	3.07 (13.6)	2.6	400 (34.0)	20.8 (3.1)
N2n-35-109 $S_3$ L 平均		3.00	2.5	403	20.7
N2n-35-285-46 $S_3$ L	66	2.50** (12.8)	2.7	442 (35.5)	18.5 (3.3)
N2n-35-285-78 $S_3$ L	24	2.89 (10.5)	2.9	365 (64.7)	18.0 (3.1)
N2n-35-285 $S_3$ L 平均		2.70	2.8	404	18.3
N2n-35-285-41 $S_3$ H	52	3.03 (14.3)	5.5	564 (38.7)	17.4 (3.6)
N2n-35-351-11 $S_3$ L	74	1.61 (13.4)	1.4	264 (29.5)	20.3 (3.2)
N2n-35-351-61 $S_3$ L	55	1.72 (11.3)	1.5	268 (29.3)	19.6 (3.3)
N2n-35-351-66 $S_3$ L	55	1.76 (15.9)	1.4	262 (30.5)	20.3 (3.2)
N2n-35-351 $S_3$ L 平均		1.70	1.4	265	20.1

<sup>1)</sup>: 変動係数 (%)

<sup>2)</sup>:  $S_3$  は自殖 3 回の世代

<sup>3)</sup> L: 低電気伝導率選抜後代, H: 高電気伝導率選抜後代

\* \*: 高電気伝導率選抜後代との間に 1% 水準で有意差

による選抜が効率的であると考えられる。しかし、有害性非糖分の中でアミノ - N は非電解質であるため、電気伝導率へ影響を与えない。したがって、K や Na の含量が低いにもかかわらずアミノ - N 含量の高い個体を選抜する可能性がある。実際に「N2n-35-351-77」ではアミノ - N 含量が「モノホマレ」の3倍程度となった。このことから、後代の選抜を行う時点では、オートアナライザを用いて有害性非糖分含量、特にアミノ - N 含量についての選抜を行うことが必要と考えられた。また、電気伝導率計で使用した希釈サンプル液を、直接オートアナライザによる有害性非糖分含量測定に使用することも可能である(藏之内, 1997) ことから、電気伝導率の測定による選抜に引き続き、電気伝導率の低い個体のみについてオートアナラ

イザでの測定を行ってアミノ - N 含量についての選抜をすることもできる。

一般に K 含量の選抜効果は低く、Na 含量のそれは高い(牧田・中島, 1973)。K と Na の含量の合計値と非常に相関の高い電気伝導率による選抜では、一般に含量値が高い K 含量の方が Na 含量よりも強く影響する。電気伝導率選抜時の系統内の個体変異と選抜効果との間には明らかな関連性が認められなかったが、これは、比較的変異が少なく選抜効果が低い K 含量が影響して判然としなかったことが原因の一つと考えられた。また、「N2n-29-138」では電気伝導率による選抜効果が少なかったが、選抜した個体間の電気伝導率の差異が少なかったことに起因していると考えられた。系統育成の基本となる個体選抜に当たっては、

第25表 根部汁液の電気伝導率による選抜後代の有害性非糖分含量と糖蜜糖分 (1991年)

品種・系統名	電気伝導率 (選抜時) (ms/cm)	有害性非糖分含量 (meq/100g)			糖蜜糖分 <sup>1)</sup> (%)
		アミノ - N	K	Na	
モノホマレ		1.64	4.33	0.78	1.60
モノヒカリ	2.0	1.28	3.46	0.56	1.19
N2n-35-105-25 L <sup>2)</sup>	2.0	4.09	4.53	1.17	2.03
N2n-35-105-77 H	3.6	3.10	5.53	1.49	2.39
N2n-35-351-77 L	1.3	5.32	3.83	0.75	1.76
N2n-35-351-51 H	2.2	4.75	4.07	0.84	1.82

<sup>1)</sup> 第13表参照

<sup>2)</sup> L: 低電気伝導率選抜後代, H: 高電気伝導率選抜後代

第26表 N2n-29-138(S<sub>2</sub>)における根部汁液電気伝導率による選抜後代の根部汁液電気伝導率、根茎重およびブリックス度 (1991年)

品種・系統名	個体数	電気伝導率 (ms/cm)	根茎重 (g)	ブリックス度 (%)
モノホマレ	63	2.18 (18.7) <sup>1)</sup>	657 (49.0)	21.8 (6.7)
モノヒカリ	66	1.80 (11.1)	711 (33.7)	21.9 (2.4)
N2n-29-138 S <sub>2</sub> <sup>2)</sup>	104	2.88 (20.2)	575 (40.1)	19.2 (5.0)
低電気伝導率選抜個体	6	2.40	805	20.4
高電気伝導率選抜個体	1	3.30	950	19.6

<sup>1)</sup>: 変動係数 (%)

<sup>2)</sup>: S<sub>2</sub> は自殖2回の世代

大量のサンプルを処理する必要がある。オートアナライザを用いた有害性非糖分含量の測定は、正確であるが時間を要し、大量のサンプル処理には不適であり、育種の効率化という点では難点がある。一方、電気伝導率の測定は、アミノ - N 含量については評価できないものの、オートアナライザの測定に比較して簡便であり、より多くのサンプルを扱える。したがって、現在考えられる有害性非糖分含量の選抜方法としては、最初に電気伝導率による選抜を行い、有望と考えられる後代について、オートアナライザを用いた各成分の測定とそれに基づいた選抜を行う方法が効率的である。また、実際の系統育成場面においては、高品質性を備えていると同時に収量形質が優れていることが要求されるため、選抜に当たっては個々の系統の特性を見極めながら、各形質特性を総合的に評価していく必要がある。

#### 4. 有害性非糖分の繰り返し選抜の効果

高品質系統を育成するために、必要かつ十分な選抜回数を知ることは重要である。ここでは、SF系統を用いて有害性非糖分含量の選抜を繰り返し、選抜回数と選抜効果の関係を検討する。

#### 材料および方法

O型SF系統「N2n-29-138」由来の2系統、「N2n-29-138-23」と「N2n-29-138-45」の自殖3回の $S_3$ を供試した。これらは、「モノホマレ」並の品質の系統である。比較系統として、「モノホマレ」を供試した。

1992年に供試2系統を育苗後、ほ場に移植して栽培した。各系統約100個体を収穫後、根茎重を測定し、ラスピングにより根部汁液を採取した。採取汁液について、ブリックス度を測定し、オートアナライザを用いてアミノ - N, K, Naの各含量を測定した。糖蜜糖分を指標として有害性非糖分含量の低含量と高含量の個体、それぞれ2または3個体を選抜した。

第27表 N2n-29-138( $S_3$ )における根部汁液電気伝導率による選抜後代の根部汁液電気伝導率、根茎重およびブリックス度 (1992年)

品種・系統名	個体数	電気伝導率 (ms/cm)	同左 (選抜時)	根茎重 (g)	ブリックス度 (%)
モノホマレ	60		2.18	740 (37.6) <sup>1)</sup>	21.7 (4.0)
モノヒカリ	61		1.80	709 (33.9)	21.5 (3.6)
N2n-29-138-13 $S_3^{2)}L^{3)}$	59	2.22** (14.2)	2.2	545 (36.0)	20.5 (3.0)
N2n-29-138-23 $S_3 L$	98	2.24** (12.3)	2.3	530 (38.1)	21.2 (4.2)
N2n-29-138-45 $S_3 L$	100	2.26** (12.6)	2.4	498 (35.6)	21.2 (3.8)
N2n-29-138-62 $S_3 L$	75	2.62 (8.5)	2.5	462 (32.7)	20.5 (3.1)
N2n-29-138-76 $S_3 L$	83	2.54* (10.5)	2.5	392 (29.1)	20.7 (2.9)
N2n-29-138-78 $S_3 L$	84	2.68 (9.5)	2.5	487 (32.3)	20.3 (3.5)
N2n-29-138 $S_3 L$ 平均		2.43	2.4	486	20.7
N2n-29-138-28 $S_3 H$	60	2.65 (9.7)	3.3	446 (29.7)	20.6 (2.9)

<sup>1)</sup>: 変動係数 (%)

<sup>2)</sup>:  $S_3$ は自殖3回の世代

<sup>3)</sup> L: 低電気伝導率選抜後代, H: 高電気伝導率選抜後代

\*\*, \*: 高電気伝導率選抜後代との間に1%水準, 5%水準で有意差

選抜個体から温室内で自殖採種し、得られた種子を1993年度の検定・選抜に供した。選抜後代を育苗後、ほ場に移植して栽培し、各系統について約50個体を収穫後、上述の方法で根茎重、ブリックス度および有害性非糖分含量を測定した。有害性非糖分に関する2回目の個体選抜を行って選抜後代を自殖により採種し、1994年に2回目の選抜効果の検定並びに3回目の個体選抜を実施した。1995年に、3回目の選抜効果を系統単位で評価した。

一方、O型SF系統間での交配に由来する「195x185」について、「N2n-29-138」由来系統におけると同様の方法・個体数で、1989年にほ場で栽培し、根茎重とブリックス度の測定とオートアナライザを用いた有害性非糖分の各含量の測定、糖蜜糖分を指標とした有害性非糖分含量の低方向と高方向への個体選抜を行った。なお、選抜開始時の「195x185」の世代はF<sub>3</sub>(S<sub>2</sub>)であった。選抜個体からは、隔離温室で集団採種した4回目の選抜を除き、各回とも温室内で自殖をさせて個体別に採

種し、次年度の検定・選抜に供した。以後、ほぼ毎年1世代の割合で選抜を進め、6回目の低含量選抜後代の選抜効果を検定した。また、比較として高含量への選抜を3回行い、その選抜効果を併せて検定した。

#### 結果および考察

「N2n-29-138」由来系統における有害性非糖分含量による1回目の選抜効果を第28表に示す。なお、年次間差を補正するため、各数値は「モノホマレ」に対する百分比で示した。各系統の低・高含量選抜系統間では糖蜜糖分で明らかな選抜効果が認められた。有害性非糖分の各成分についてみると、特にNaでは低・高含量選抜系統間で1.5～3倍の含量比となり、顕著な選抜効果が認められた。有害性非糖分含量の高い個体を選抜すると後代の根重が高まるのは、一般的に認められる選抜反応であるが、「N2n-29-138-23」ではその傾向が認められなかった。ブリックス度は、特に「N2n-29-138-23」で低含量選抜系統の方が高い値を示した。また、変動係数は、多くの形質で選抜によ

第28表 N2n-29-138(S<sub>3</sub>)における有害性非糖分含量の選抜(1回選抜)後代の有害性非糖分含量、糖蜜糖分、根茎重およびブリックス度 (1993年)

品種・系統名	個体数	有害性非糖分含量 (meq/100 <sup>mg</sup> )			糖蜜糖分 <sup>1)</sup> (%)	根茎重 (g)	ブリックス度 (%)
		アミノ-N	K	Na			
モノホマレ	54	0.85 (59.9) <sup>2)</sup>	3.74 (17.8)	0.98 (36.8)	1.39 (22.1)	851 (40.0)	20.7 (4.1)
N2n-29-138-23 親系統	46	118 <sup>3)</sup> (48.2)	78 (14.0)	182 (40.3)	101 (24.6)	91 (45.7)	97 (4.1)
N2n-29-138-23 L Sel. 1 <sup>4)</sup>	50	105 (14.7)	76 (11.4)	107 <sup>**</sup> (17.9)	80 <sup>**</sup> (13.7)	69 <sup>**</sup> (37.7)	101 <sup>**</sup> (2.4)
N2n-29-138-23 H Sel. 1 <sup>5)</sup>	49	114 (32.7)	79 (14.8)	323 <sup>**</sup> (29.7)	136 <sup>**</sup> (19.7)	61 <sup>**</sup> (38.1)	91 <sup>**</sup> (3.9)
N2n-29-138-45 親系統	43	129 (36.6)	79 (13.9)	219 (40.1)	111 (22.1)	71 (45.3)	95 (5.5)
N2n-29-138-45 L Sel. 1	51	144 (24.3)	80 (16.0)	204 (33.5)	109 (22.2)	64 (41.5)	94 (4.7)
N2n-29-138-45 H Sel. 1	38	89 <sup>**</sup> (24.9)	108 <sup>**</sup> (21.6)	323 <sup>**</sup> (33.6)	161 <sup>**</sup> (25.4)	78 (48.1)	93 (3.9)

<sup>1)</sup>: 第13表参照

<sup>2)</sup>: 変動係数(%)

<sup>3)</sup>: 対「モノホマレ」百分比

<sup>4)</sup>: 低含量方向に1回選抜

<sup>5)</sup>: 高含量方向に1回選抜

\*\* : 親系統との間に1%水準で有意差

り減少する傾向が見られた。

同系統における有害性非糖分含量による 2 回目の選抜効果の検定結果を第29表に示す。糖蜜糖分では、「N2n-29-138-23」での低・高含量選抜系統間で、1 回目の選抜に比較して差が拡大した。特に、Na含量において、さらに低・高含量選抜系統間の差が拡大した。根茎重とブリックス度にお

ける高低関係は、1 回目選抜系統と同様であったが、「N2n-29-138-45」ではさらに差が拡大した。

さらに、同系統の 3 回目の選抜効果の検定結果を第30表に示す。糖蜜糖分では、低含量選抜 3 回のうちの 1 系統のみが選抜 2 回の系統よりもやや低下したにすぎなかった。有害性非糖分の各成分についてみると、いずれも 3 回目の選抜効果はか

第29表 N2n-29-138( $S_3$ )における有害性非糖分含量の選抜(2 回選抜)後代の有害性非糖分含量, 糖蜜糖分, 根茎重およびブリックス度 (1994年)

品種・系統名	個体数	有害性非糖分含量 (meq / 100 <sup>mg</sup> )			糖蜜糖分 <sup>1)</sup> (%)	根茎重 ( <sup>mg</sup> )	ブリックス度 (%)
		アミノ - N	K	Na			
モノホマレ	66	1.09 (36.2) <sup>2)</sup>	3.61 (13.8)	1.18 (39.0) 2.24 <sup>**</sup>	1.43 (17.8) 2.24 <sup>**</sup>	742 (32.5)	19.8 (5.1)
N2n-29-138-23 L Sel. 2 <sup>4)</sup>	56	108 <sup>3)</sup> (19.9) 128 (28.5)	87 <sup>**</sup> (13.8)	61 <sup>**</sup> (38.8)	78 <sup>**</sup> (18.0) 175 (14.4)	74 (30.0)	102 <sup>**</sup> (3.3)
N2n-29-138-23 H Sel. 2 <sup>5)</sup>	60	114 (32.7)	79 (14.6)	421 (17.9)	136 <sup>**</sup> (19.7)	67 (35.0)	91 (4.0)
N2n-29-138-45 L Sel. 2	62	176	96	154	117	58 <sup>**</sup> (35.5)	98 <sup>**</sup> (3.7)
N2n-29-138-45 H Sel. 2	66	132	126	281	176	83 (33.2)	92 (5.1)

<sup>1)</sup>: 第13表参照

<sup>2)</sup>: 変動係数(%)

<sup>3)</sup>: 対「モノホマレ」百分比

<sup>4)</sup>: 低含量方向に 2 回選抜

<sup>5)</sup>: 高含量方向に 2 回選抜

<sup>\*\*</sup>: 高電気伝導率選抜後代との間に 1 %水準で有意差

第30表 N2n-29-138( $S_3$ )における有害性非糖分含量の選抜(2 回または 3 回選抜)後代の有害性非糖分含量, 糖蜜糖分, 根茎重およびブリックス度 (1995年)

品種・系統名	有害性非糖分含量 (meq / 100g)			糖蜜糖分 <sup>1)</sup> (%)	根重 ( <sup>mg</sup> )	根中糖分 (%)
	アミノ - N	K	Na			
モノホマレ	0.91	3.15	1.27	1.29	405	15.1
N2n-29-138-23 親系統	64 <sup>2)</sup>	88	195	119	59	93
N2n-29-138-23 L Sel. 2 <sup>3)</sup>	90	92	82	87	31	92
N2n-29-138-23 L Sel. 3	81	93	80	86	30	88
N2n-29-138-23 L Sel. 3	93	86	78	80	35	92
N2n-29-138-23 H Sel. 2 <sup>4)</sup>	54	86	377	179	37	83
N2n-29-138-23 H Sel. 3	54	88	313	159	36	88

<sup>1)</sup>: 第13表参照

<sup>2)</sup>: 対「モノホマレ」百分比

<sup>3)</sup>: 低含量方向に 2 回または 3 回選抜

<sup>4)</sup>: 高含量方向に 2 回または 3 回選抜

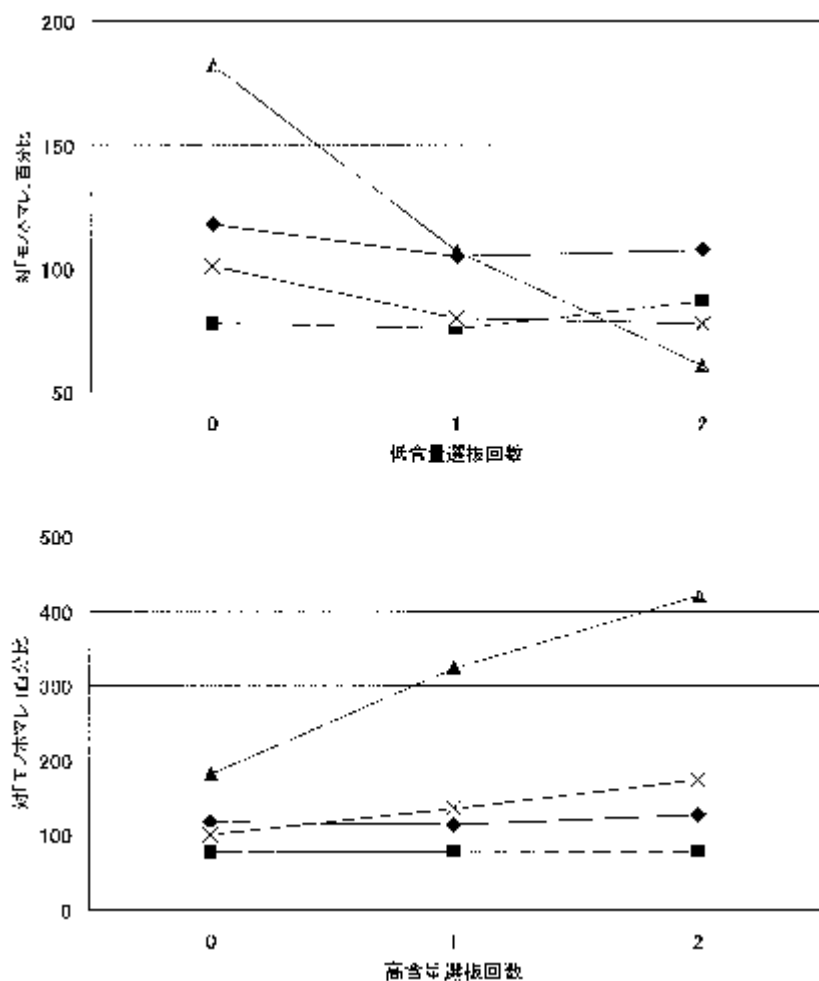


なり小さく、一部では効果が認められないと判断された。なお、高含量選抜3回の系統が高糖性方向へ傾いたが、これは高含量選抜の効果が現れなかったことも含めて、さらに検討が必要である。また、アミノ-N含量では、高含量選抜系統の方がむしろ低含量となったが、この点については分析方法も含め、さらに検討が必要である。

「N2n-29-138-23」の有害性非糖分含量による選抜効果を検討するため、ラスピングによる採取汁液を用いて調査を行った3年間のデータを、対「モノホマレ」百分比で比較した(第19図)。糖蜜糖分では、低含量選抜では1回目の選抜でみられた減少が2回目の選抜では緩やかになり、高含量選抜では2回目にかけて順次増加した。低・高含量方向のNaの選抜効果はいずれも大きく現れ、

2回目までの選抜で、それぞれ大きく含量が増減した。それに対して他の成分含量では選抜効果が明らかでなく、アミノ-Nにおいて1回目の低含量選抜でやや低下が認められたにすぎなかった。

同様に、「N2n-29-138-45」の有害性非糖分含量による選抜効果は、糖蜜糖分では低含量選抜で効果がみられず、一方、高含量選抜では1回目の選抜でみられた増加が2回目の選抜では緩やかであった(第20図)。低・高含量方向へのNaの選抜効果はいずれも現れたが、前述の「N2n-29-138-23」(第19図)に比較して増減は緩やかであった。また、他の成分の含量では選抜効果が明らかでなく、Kの高含量選抜でやや増加が認められたにすぎず、低含量選抜ではむしろ増加傾向の場合も認められた。このように、兄弟系統であっても、自殖を3



第19図 N2n-29-138-23における有害性非糖分の選抜効果

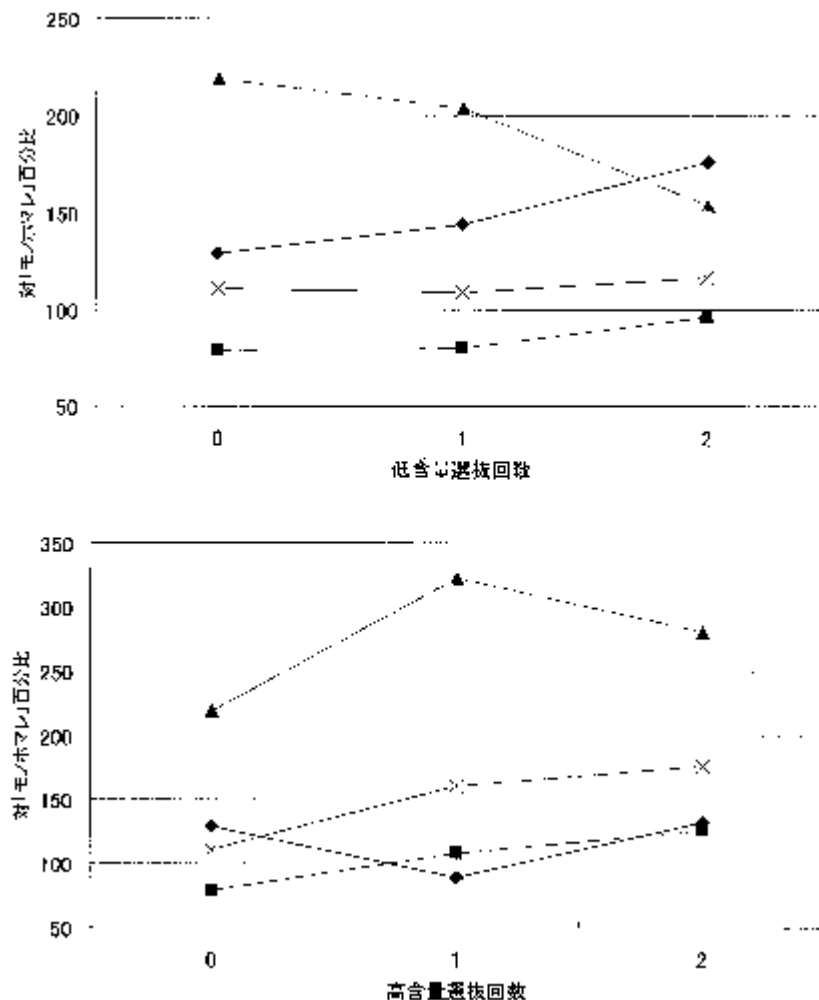
◆: アミノ-N, ■: K, ▲: Na, ×: 糖蜜糖分 (第13表参照)

回繰り返した系統においては，有害性非糖分含量の選抜に対する反応が異なり，特に低含量方向への選抜において，その効果の差異が明らかとなった。

低有害性非糖分含量への選抜を6回まで繰り返した場合の選抜効果を調べるため，「195x185」を供試してラスピングによる採取汁液を用いた分析により選抜・検定を行った7年間のデータを，対「モノホマレ」百分比で比較した（第21図）。糖蜜糖分では，1回目の選抜で大きく減少し，2回目以降の選抜ではやや変動はあるものの緩やかに減少傾向を示した。各成分の含量は1回目の選抜で大きく減少し，2回目以降の選抜ではKとNaの含量が緩やかに減少傾向を示し，アミノ-N含量は減少しなかった。また，特にNa含量の減少程

度が大きく，1回の選抜で親系統の半分以上に減少し，最終的には3分の1以下となった。

系統単位での評価法による検定結果を第31表に示す。種子量の制限により各世代全てについて検定することはできなかったが，糖蜜糖分，有害性非糖分の各成分とも選抜効果が明らかであった。効果が最も大きく現れたのはNa含量で，次いでアミノ-N含量，K含量の順であった。低・高含量選抜系統間では，Na含量が4倍程度，アミノ-N含量が2倍程度の差がみられた。しかし，低含量方向の選抜の中では，3回から6回目にかけての選抜では，糖蜜糖分および各成分の減少程度は緩やかであった。SMITHら（1989）は，ヘテロ性の高いテンサイの集団で循環選抜を行い，高い選抜効果を得ている。また，牧田・中島（1973）と



第20図 N2n-29-138-45における有害性非糖分の選抜効果

◆：アミノ-N，■：K，▲：Na，×：糖蜜糖分（第13表参照）

SMITHら(1989)は、低Na含量選抜により根中糖分が上昇したことを観察しているが、本実験でも同様の傾向が認められた。

「N2n-29-138」由来系統における有害性非糖分含量による1回目の選抜効果の検定で、「N2n-29-138-45」のアミノ-Nで選抜効果が認められなかったが、選抜時における低含量選抜個体と高含量選抜個体間の差が小さかったことが影響したと推察された。

先に述べたように、テンサイにおける自殖の影響は、根重で大きく、根中糖分や有害性非糖分含量のような含量で示される形質では少ないことが認められた。有害性非糖分含量の選抜において、自殖が与える影響については考慮する必要はないと判断した。

以上の結果から、SF系統において有害性非糖分含量選抜を行う場合には、1回から2回の選抜でも実用上十分な選抜効果が得られ、さらに選抜を繰り返す必要性は少ないと考えられた。有害性非糖分含量の選抜により各形質の変動係数が低下したことは、系統内の遺伝的変異の縮小を示しており、当然次世代における選抜効果もまた低下すると考えられる。また、自殖を繰り返した系統(例えば「N2n-29-138-45」のS<sub>3</sub>)では、選抜効果

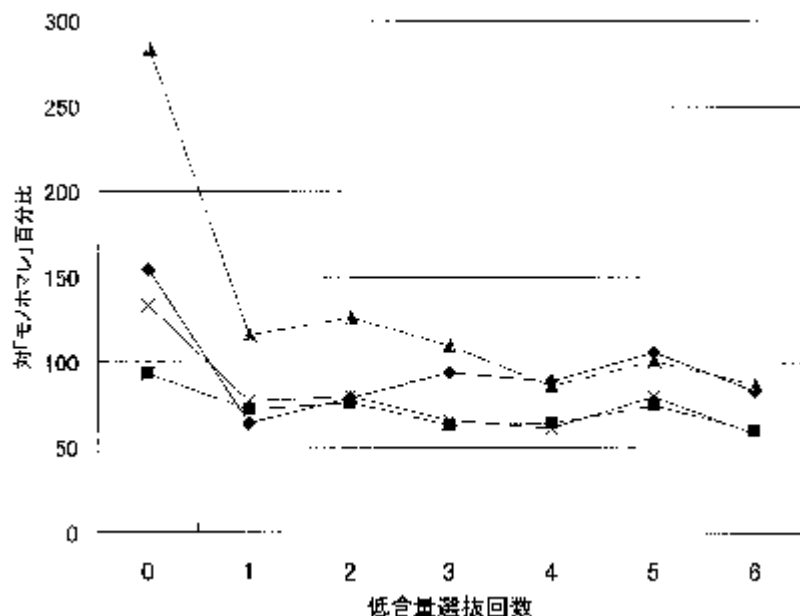
の発現されない事例もみられたことから、高い選抜効果を得るためにはより自殖の初期世代、すなわちS<sub>2</sub>程度の系統を供試すべきであると推察された。

本実験で選抜された系統の中には高品質性が優れたものも含まれ、特に「195x185」の低含量選抜系統は糖蜜糖分値が低く、高品質品種「モノヒカリ」と比較しても優れており、高品質系統としては十分な特性を有していると考えられた。

## 5. 小 括

根中糖分および品質関連形質については自殖による影響を考慮する必要は少ないことが判明した。これらの形質では、雑種強勢現象が発現しにくく、相加的な遺伝効果によると考えられ、高糖・高品質性を有する一代雑種を育成するためには、親系統自身もまた高糖・高品質性を備えていることが重要となる。そのような系統を効率的に育成することが重要であり、この場合、2節で述べたようにSF系統間の交配に基づく育成手法が有効となる。

SF系統間交配による育成系統の有害性非糖分含量および収量関連形質の間の相互関係では、一般に認められる相関関係、すなわち根重と有害性非糖分含量の間に正、根中糖分と有害性非糖分含



第21図 NK-195mm-OxNK-185mm-Oにおける有害性非糖分の選抜効果

◆: アミノ N, ■: K, ▲: Na, ×: 糖蜜糖分 (第13表参照)

量との間に負，各有害性非糖分含量の間に正の相関関係を示す系統だけではなく，系統および形質によりこれと異なる相関関係を示す事例も認められた。これは，選抜や自殖の影響と考えられると同時に，遺伝的相関が示唆され，さらに詳細な検討が必要と考えられた。主成分分析の結果から，上記の形質には交配親系統の特性が強く表れることが示され，交配親系統の選択が重要であることが確認された。高ブリックス度への個体選抜は，根中糖分の上昇とNa含量の低下を伴うが，アミノ-NやKの含量低下には必ずしも有効でなく，これら形質の個体選抜が重要であることが示された。

電気伝導率による有害性非糖分の個体別測定手法を，高品質系統育成のための選抜過程に組み込むことで，個体単位での有害性非糖分含量の測定が効率的に行え，高品質系統・品種の効率的な育成が可能となるとともに，有害性非糖分について，SF系統を用いた詳細な遺伝的研究に有用となる。電気伝導率の測定は，アミノ-N含量を反映しないものの，非常に簡便であり，系統の品質特性を把握する上で非常に有効であるとともに，品質特性の劣る個体を早い段階で除去することにより選抜効率を高めることが可能となる。

有害性非糖分含量の繰り返し選抜に関する実験

の結果から，低有害性非糖分含量の系統を育成する場合は，予め変異が大きな材料を育成しておき，その中から1回または2回の選抜により低含量系統を育成することが効率的であると考えられた。SF系統間の交配は，新たに変異の大きな材料を育成するには効果的な手段である。その際，自殖を3回以上繰り返した系統の場合には，選抜効果が低下する事例も観察されたので注意が必要であろう。ただし，自殖のごく初期世代( $S_1$ )では遺伝子型の固定が不十分であると同時に種子量も少ないため，実際の選抜場面を想定すると $S_2$ すなわち自殖2回の系統で選抜するのが効率的と考えられた。

以上の結果を総合すると，現在考えられる効率的な高品質系統の育種過程を第22図のように示すことができる。即ち，SF系統間あるいはSF系統と自家不和合性系統間の交配に由来する材料から，自殖と品質関連形質に関する選抜を経ながら，高品質系統が約3年から4年で育成されることになる。

#### ・SF系統間交配法による

##### テンサイ種子親系統の育成

テンサイ育種において，種子親系統（O型系統と雄性不稔系統との組合せ）の育成には長い期間

第31表 NK-195mm-O×NK-185mm-O( $F_3$ )における有害性非糖分含量の選抜効果（1996年）

品種・系統名	有害性非糖分含量 (meq/100g)			糖蜜糖分 <sup>1)</sup> (%)	根重 (g)	根中糖分 (%)
	アミノ-N	K	Na			
モノホマレ	0.71	3.55	0.49	1.14	616	16.5
モノヒカリ	81 <sup>2)</sup>	90	71	84	96	102
195x185 <sup>3)</sup> 親系統	108	96	141	103	63	98
195x185 L Sel. 3 <sup>4)</sup>	74	81	96	77	47	98
195x185 L Sel. 4	72	79	94	75	50	98
195x185 L Sel. 6	70	76	77	69	52	97
195x185 H Sel. 1 <sup>5)</sup>	151	100	336	138	69	90
195x185 H Sel. 3	139	106	243	131	58	92

<sup>1)</sup>: 第13表参照

<sup>2)</sup>: 対「モノホマレ」百分比

<sup>3)</sup>: NK-195mm-O×NK-185mm-O

<sup>4)</sup>: 低含量方向に3回～6回選抜

<sup>5)</sup>: 高含量方向に1回～3回選抜

と多くの労力を要する。より効率的に種子親系統を育成する方法として、既に育成された多くのSF系統を用いた系統間交配法による新たなO型系統の育成を試み、その結果有望系統が得られた。本実験では、それらを一代雑種育成段階に供して組合せ能力による選抜を行った。さらに、育成された三系交配一代雑種の特性を調査し、SF系統間交配による育種法の実用性について検討する。

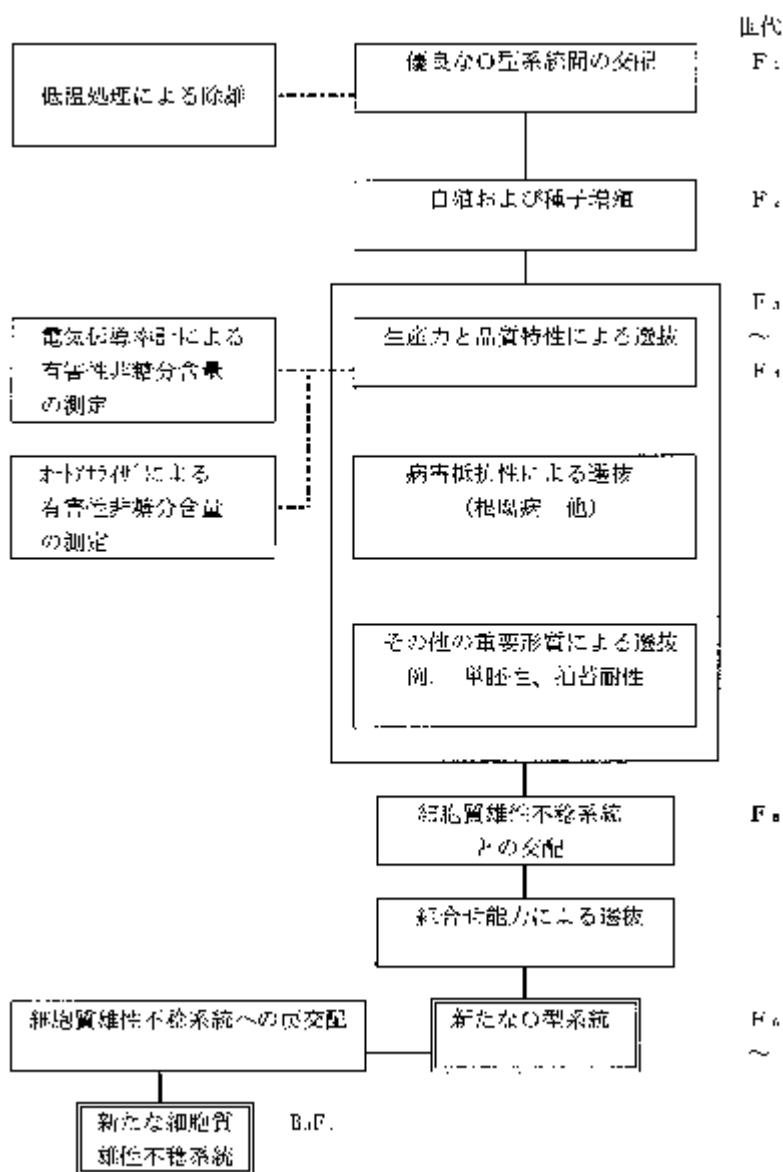
#### 1. SF系統間の交配により育成された系統の組合せ能力

育成された有望O型系統と雄性不稔系統を交配

して後代の生産力検定試験を実施し、高い組合せ能力を持ったO型系統を選抜する。

#### 材料および方法

章の2節において育成された、SF系統間交配に由来する「183x185」および「195x185」の2家系から、第23図に示す選抜過程を経て育成した10系統を供試した。これらの選抜系統について、集団採種を行ってO型系統育成を完了する段階で、雄性不稔系統「NK-172BRmm-CMS」との検定交雑を行った。育成した新O型系統と「NK-172BRmm-CMS」との交配種子を、1991年にほ場におけ



第22図 O型SF系統間の交配による新たな種子親系統（O型系統および細胞質雄性不稔系統）育成の概要

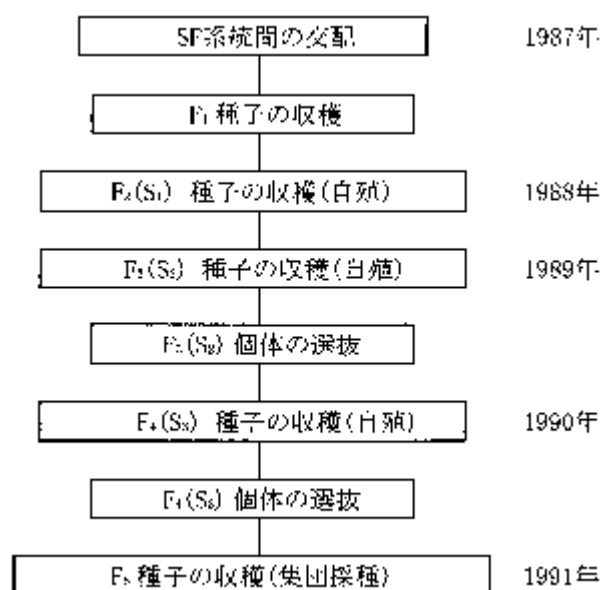
る生産力検定試験（移植，標準栽培法）に供試し，収量・品質関連形質の調査結果によって組合せ能力の高い系統を選抜した。品質の評価については，有害性非糖分含量と根中糖分から算出される不純物価を指標として用いた。これは，テンサイの品質の指標として，広く用いられており，下記の式により求められる。

$$\text{不純物価} = (3.5\text{Na} + 2.5\text{K} + 10\text{N}) \times \text{根中糖分} \times 100 (\%)$$

(Na, K, N:それぞれNa, K, アミノ - N  
の含量, 各含量の単位は%)

修正糖量については，修正糖分（前述）に根重を乗じて算出される。

1991年における供試系統のうち，特に有望と判断された「(183x185)-34」，「(195x185)-22」および「(195x185)-112」について，抽苔耐性の選抜を加えた。その後，「(195x185)-22BR」(BRは抽苔耐性選抜系統を示し，基本的に抽苔耐性のみが付与された系統である)については，3つの雄性不稔系統，その他の2系統については1つの雄性不稔系統と交配した。交配により得られた種子を供試して，比較系統の「NK-172BR×NK-183BR」(品種「モノパール」の種子親系統である「NK-172×NK-183」の抽苔耐性選抜系統)とともに生産力検定（移植，標準栽培法）を行った。なお，「(195x185)-112BR」については，種子が得られなかったため供試できなかった。



第23図 SF系統間交配後代からの選抜系統の育成経過

## 結果および考察

「NK-172BRmm-CMS」との交配 $F_1$ の生産力検定の結果を第32表に示した。なお，供試系統の枝番号は， $F_3(S_2)$ での選抜時の個体番号に対応している。「(183x185)-34」の交配 $F_1$ は，「NK-183BRmm-O」および「NK-185BRmm-O」の交配 $F_1$ に比較して根重と根中糖分が優れ，不純物価は高品質系統「NK-185BRmm-O」の交配 $F_1$ とほぼ同程度で，「モノホマレ」より低く，修正糖量は明らかに多かった。「(195x185)-22」および「(195x185)-112」の交配 $F_1$ は，「NK-185BRmm-O」および「NK-195mm-O」の交配 $F_1$ に比較して，いずれも根重が明らかに重く，根中糖分については「(195x185)-112」の交配 $F_1$ が高かった。これら2つの交配 $F_1$ の不純物価は高品質系統「NK-185BRmm-O」の交配 $F_1$ と同程度で，「モノホマレ」より明らかに低く，修正糖量は，いずれも「NK-185BRmm-O」および「NK-195mm-O」の交配 $F_1$ に比較して明らかに多かった。以上の結果，有望系統として「(183x185)-34」，「(195x185)-22」，「(195x185)-112」が選抜された。

さらに，育成した上記3系統について抽苔耐性選抜を加え，それぞれ「(183x185)-34BR」，「(195x185)-22BR」，「(195x185)-112BR」を育成した。さらに雄性不稔系統と交配し，得られた交配 $F_1$ の生産力検定の結果を第33表に示す。「NK-252×(195x185)-22BR」は比較系統の「NK-172BR×NK-183BR」よりも明らかに優れた根重，不純物価および修正糖量を示したことから，収量，糖分，品質等の特性を異にする系統との組合せによってさらに優れた収量，品質特性をもち，組合せ能力の高い系統の得られることが明らかとなった。また，この交配 $F_1$ は，「モノホマレ」と同等の根重を示し，他の供試系統と比較しても優れた収量，品質特性を備えていた。一方，「(183x185)-34BR」の交配 $F_1$ は「NK-172BR×NK-183BR」と比較すると有意に高い根中糖分を示したが，根重が劣っていた。

$F_4(S_3)$ の選抜において，「183x185」由来系統はやや糖分型，「195x185」由来系統はやや根重型で有害性非糖分含量が低い傾向が認められたが，供試した親系統の「NK-183mm-O」(「NK-183BRmm-O」)，「NK-185mm-O」(「NK-185BRmm-O」)および「NK-195mm-O」の調査結果から，

上記2家系間の特性差は、交配親系統(「183x185」は「NK-183mm-O」および「NK-185mm-O」、  
「195x185」は「NK-195mm-O」および「NK-185mm-O」)の特性に起因していると推察された。

雄性不稔系統との交配F<sub>1</sub>の生産力検定の結果から、SF系統間交配により育成されたO型系統からは高い組合せ能力を持った系統が出現することが明らかとなった。

第32表 SF系統間交配により育成されたO型系統の交配F<sub>1</sub>の収量・品質特性 (1991年)

品種・系統名	根重 (トン/10a)	根中糖分 (%)	不純物価 <sup>1)</sup> (%)	修正糖量 <sup>2)</sup> (kg/10a)
モノホマレ	4.24	16.86	4.01	621
NK-172BR × NK-183BR	3.35	16.28	4.22	465
× NK-185BR	3.23	16.37	3.59	465
× NK-195	3.54	15.35	4.38	463
× (183x185) <sup>3)</sup> -10	3.27	16.62	3.52	478
× (183x185) <sup>3)</sup> -34	3.52	16.85	3.73	520
× (183x185) <sup>3)</sup> -69	3.04	16.59	3.76	439
× (183x185) <sup>3)</sup> -98	3.24	16.70	3.69	473
× (195x185) <sup>4)</sup> -5	3.70	15.84	3.90	510
× (195x185) <sup>4)</sup> -14	3.46	15.67	3.81	471
× (195x185) <sup>4)</sup> -22	3.84	16.35	3.61	551
× (195x185) <sup>4)</sup> -41	3.45	16.33	4.07	485
× (195x185) <sup>4)</sup> -112	3.74	16.91	3.45	557
× (195x185) <sup>4)</sup> -118	3.51	16.11	4.08	489
L. S. D. (5%)	0.20	0.27	0.23	27
(1%)	0.27	0.36	0.31	36

<sup>1)</sup>: 不純物価:  $(3.5Na + 2.5K + 10N) / \text{根中糖分} \times 100(\%)$

(Na, K, N: それぞれNa, K, アミノ-Nの含量, 各含量の単位は%)

<sup>2)</sup>: 修正糖量(kg/10a) = 根重(トン/10a) × (根中糖分(%)) - (糖蜜糖分(%)) + 0.6) × 10  
糖蜜糖分 第13表参照

<sup>3)</sup>: NK-183mm-O × NK-185mm-O

<sup>4)</sup>: NK-195mm-O × NK-185mm-O

〰: 選抜された系統

第33表 SF系統間交配により育成された(195x185)-22BRおよび(183x185)-34BRの交配F<sub>1</sub>の収量・品質特性 (1995年)

品種・系統名	根重 (トン/10a)	根中糖分 (%)	不純物価 <sup>1)</sup> (%)	修正糖量 <sup>2)</sup> (kg/10a)
モノホマレ	6.25	15.97	3.54	874
NK-172BR × NK-183BR	5.73	15.70	3.56	781
TK-80-2BR <sub>2</sub> × (195x185)-22BR	5.83	15.73	3.47	809
NK-208BR × (195x185)-22BR	5.33	16.00	2.78	765
NK-252 × (195x185)-22BR	6.52	15.44	2.69	905
NK-172BR × (183x185)-34BR	5.35	16.25	3.07	771
L. S. D. (5%)	0.39	0.30	0.19	51
(1%)	0.51	0.40	0.25	68

<sup>1), 2)</sup>: 第32表参照

## 2. 自家不和合性系統とSF系統の交配により育成された系統の特性と組合せ能力

SF系統は、相互の交配のみならず、自家不和合性系統との交配でも、優良な新O型系統の育成が可能と考えられる。SF系統と自家不和合性系統の交配による育成方法がSF系統相互間の交配による育成方法と異なる点は、自家不和合性に関して育成過程で分離が生じる点である。本実験では、SF系統と既に育成された優良特性を持つ自家不和合性系統を交配し、後代で分離した自家不和合性個体から母系系統を育成する一方、SF系統についても育成を進める。次いで、系統自身およびその交配 $F_1$ の収量・品質関連形質について調査し、その有効性について検討する。

### 材料および方法

SF系統は「NK-183mm-O」(多収性)、「NK-185mm-O」(高糖性)および「NK-195mm-O」(多収性)、自家不和合性系統は「TK-76-49/2mm-O」(多収性)および「NK-172-60/A-37mm-O」(多収性)を用い、「TK-76-49/2mm-O×NK-195mm-O」(「76-49/2x195」と略記)、「NK-172-60/A-37mm-O×(NK-183mm-O×NK-185mm-O)」(「172-60/A-37x(183x185)」と略記)の交配を行った。

交配は、自家不和合性系統を種子親、SF系統を花粉親とし、各供試系統を袋掛けして、開花後に花粉親の花粉が付着した袋を種子親に掛け直して行った。採種した交配 $F_1$ 種子から、順次 $F_2$ ( $S_1$ )、 $F_3$ ( $S_2$ )と世代を進めた。

「172-60/A-37x(183x185)」については、 $F_3$ ( $S_2$ )の採種時に分離した自家不和合性個体から2個体間交配により採種を行い、2材料( $SI_1$ および $SI_2$ )を個体選抜に供試した。各材料について約20%の選抜強度(101個体から18個体、50個体から10個体)で収量・品質関連形質に関する選抜を行い、各材料ごとに母系採種を行った。同年、これらの中から6系統を供試して収量・品質関連形質による個体選抜を繰り返し、その中から3系統を選抜し、集団採種を行うとともに雄性不稔系統「NK-183BRmm-CMS」と交配し、交配 $F_1$ の生産力検定(移植、標準栽培法)を実施した。

「76-49/2x195」については、 $F_3$ ( $S_2$ )で個体選抜を行い、収量・品質関連形質により139個体から14個体を選抜した(選抜率は10%)。選抜個

体から自殖により $F_4$ ( $S_3$ )の採種を行い、さらに個体選抜を行って33個体から10個体を選抜して集団採種を行うとともに雄性不稔系統「NK-183BRmm-CMS」と交配し、交配 $F_1$ の生産力検定(移植、標準栽培法)を実施した。

### 結果および考察

「172-60/A-37x(183x185)」については、高糖性または多収・やや高糖性を示した個体を選抜した結果、選抜後代は高糖性を示し、特に $SI_2$ に由来する後代ではブリックス度が実数値で3%程度上昇したが、根茎重については選抜効果は少なかった(第34表)。交配 $F_1$ の収量は、いずれも根重が劣っていた(第35表)。

「76-49/2x195」については、収量・品質関連形質による個体選抜の結果、「(76-49/2x195)-19」を育成した。 $F_4$ ( $S_3$ )の選抜時は、ほ場が非常に高湿となり、低収となったため、選抜効果の検討はできなかった。交配 $F_1$ の生産力検定を行ったが、比較材料の「NK-172BR×NK-183BR」よりも交配 $F_1$ は高糖性を示し、有望な系統と判断された(第35表)。

「172-60/A-37x(183x185)」由来の3つの自家不和合性系統と「NK-183BRmm-CMS」との交配 $F_1$ は収量性が劣っていたが、その原因の一つとして、「172-60/A-37x(183x185)」と「NK-183BRmm-CMS」が近縁であることが原因と考えられた。系統自身についても根茎重の選抜効果が低く、藤本(1971)が報告しているように、自家不和合性系統における根重の遺伝力の低いことから、選抜により収量特性が明確には高まらなかったことも原因と考えられた。

「172-60/A-37x(183x185)」および「76-49/2x195」に由来する選抜系統については、いずれの交配 $F_1$ においても、比較材料である「NK-172BR×NK-183BR」の収量を明らかに凌駕するには至らなかった。この結果から、自家不和合性系統とSF系統の間で交配された後代を素材として系統を育成することは必ずしも効率的でないと考えられるが、このことについてはさらに多くの材料で検証する必要がある。

## 3. SF系統間交配による育成種子親系統との交配 $F_1$ (三系交配)の収量・品質

現在普及しているテンサイ品種の多くは三系交配 $F_1$ である。三系交配において、高い収量性や



高品質性を発揮させうるような種子親系統の育成が、最終的な目標となってくる。すなわち、細胞質雄性不稔系統(A)とO型系統(B)とを交配して得られた雄性不稔F<sub>1</sub>種子親系統に、多胚花粉親系統(C)を交配して三系交配F<sub>1</sub>((A×B)×C)を育成する。

これまで述べたように、SF系統間交配による育成素材の中から、優良な収量・品質特性を有するO型系統が新たに育成された。本実験では、これらの系統を構成系統として三系交配F<sub>1</sub>を育成し、その生産力検定試験を行うとともに、その結果から普及品種との収量・品質特性について比較・

第34表 NK-172-60/A-37mm-O×(NK-183mm-O×NK-185mm-O)に由来する  
2つの元系統とそれらの選抜系統の根茎重・ブリックス度

品種・系統名	根茎重 (g)	ブリックス度 (%)	試験年次
モノホマレ	851	20.7	1993
モノホマレ	742	19.8	1994
SI1 元集団平均	73	98	1993
選抜個体-56	125	101	1993
SI1 選抜系系統-1 (Line-56)	71	105	1994
SI2 元集団平均	67	102	1993
選抜個体-9	69	109	1993
選抜個体-13	131	105	1993
選抜個体-14	147	104	1993
SI2 選抜系系統-1 (Line-9)	70	116	1994
SI2 選抜系系統-2 (Line-13)	71	116	1994
SI2 選抜系系統-3 (Line-14)	75	114	1994

データは対「モノホマレ」百分比、すべての系統は自家不和合性

第35表 自家不和合性系統とSF系統の交配により育成された  
O型系統の交配F<sub>1</sub>の収量・品質特性 (1996年)

品種・系統名	根重 (トン/10a)	根中糖分 (%)	不純物価 <sup>1)</sup> (%)	修正糖量 <sup>2)</sup> (kg/10a)
モノホマレ	4.05	15.09	3.11	542
NK-172BR×NK-183BR	3.69	14.73	2.99	479
NK-183BR×A-SI1-56 <sup>3)</sup>	2.78	15.03	2.60	373
NK-183BR×A-SI2-9	2.71	15.10	2.86	364
NK-183BR×A-SI2-14	2.63	15.22	2.59	359
L. S. D. (5%)	0.15	0.38	0.21	25
(1%)	0.20	0.51	0.28	33
モノホマレ	4.56	16.41	3.17	667
NK-172BR×NK-183BR	4.28	15.44	3.50	576
NK-183BR×B-19 <sup>4)</sup>	4.10	16.43	3.29	596
L. S. D. (5%)	0.31	0.54	0.18	52
(1%)	0.42	0.72	0.24	69

<sup>1)</sup>、<sup>2)</sup>: 第32表参照

<sup>3)</sup>: (NK-172-60/A-37mm-O×(NK-183mm-O×NK-185mm-O))SI1-56

<sup>4)</sup>: (TK-76-49/2mm-O×NK-195mm-O)-19

検討する。

材料および方法

#### 実験 1

SF系統間交配による育成素材「183x185」から選抜された「(183x185)-34」, SF系統間交配による育成素材「195x185」から選抜された「(195x185)-22」および「(195x185)-112」を,  $F_1$ 種子親系統の花粉親(O型系統)に用いた三系交配 $F_1$ 系統について, 北海道立農業試験場との連絡試験の一環である「現地選抜ほ試験」(系統適応性検定予備試験に相当)に供試し, 調査した。比較品種は「モノホマレ」とした。また, 構成系統のうち, 雄性不稔系統と多胚花粉親系統が共通である三系交配 $F_1$ 3系統を比較・対照として供試した。この実験は直播栽培で, 栽植・施肥は標準栽培法によっている。

#### 実験 2

SF系統間交配による育成素材「183x185」から選抜された「(183x185)-97-20」, 同系統を抽苔耐性選抜した「(183x185)-97-20BR」, および「183x185」から選抜された「(183x185)-34-3BR」を,  $F_1$ 種子親系統の花粉親(O型系統)に用いた三系交配 $F_1$ 系統について, 「現地選抜ほ試験」に供試し, 調査した。比較品種は「モノホマレ」とした。また, 構成系統のうちで雄性不稔系統と多胚花粉親系統が共通である三系交配 $F_1$ 4系統を比較・対照として供試した。

#### 結果および考察

実験 1 では, いずれの三系交配 $F_1$ も, 根重が「モノホマレ」よりも低い値であった(第36表)。根中糖分は, いずれも「モノホマレ」より高く, 特に「(183x185)-34」と「(195x185)-22」を構成

第36表 (183x185)-34~(195x185)-112の三系交配 $F_1$ の収量・品質特性 (1994年)

品種・系統名	根重 (トン/10a)	根中糖分 (%)	不純物価 <sup>1)</sup> (%)	修正糖量 <sup>2)</sup> (kg/10a)
モノホマレ	6.69	16.12	3.86	940
(NK-172BR×(183x185)-34)×NK-218BR	5.88	16.74	4.02	857
(NK-172BR×(195x185)-22)×NK-218BR	5.97	16.82	3.65	886
(NK-172BR×(195x185)-112)×NK-218BR	6.45	16.32	4.30	910
(NK-172BR×NK-183BR)×NK-218BR	6.34	16.30	4.00	895
(NK-172BR×NK-236)×NK-218BR	6.44	15.54	4.87	843
(NK-172BR×NK-237)×NK-218BR	5.74	16.35	4.23	813
L. S. D. (5%)	0.32	0.32	0.21	42
(1%)	0.42	0.43	0.28	56

<sup>1), 2)</sup>: 第32表参照

第37表 (183x185)-97-20の三系交配 $F_1$ の収量・品質特性 (1995年)

品種・系統名	根重 (トン/10a)	根中糖分 (%)	不純物価 <sup>1)</sup> (%)	修正糖量 <sup>2)</sup> (kg/10a)
モノホマレ	4.11	15.44	3.06	566
(NK-172BR×(183x185)-97-20)×NK-152BR	3.79	16.02	2.78	544
(NK-172BR×(183x185)-97-20)×NK-210BR	4.03	16.18	2.72	585
(NK-172BR×(183x185)-97-20)×NK-212BR	3.85	16.30	2.66	568
(NK-172BR×(183x185)-97-20)×NK-217BR	3.73	16.37	2.62	550
(NK-172BR×(183x185)-97-20)×NK-218BR	3.90	16.14	2.77	564
L. S. D. (5%)	0.25	0.29	0.17	37
(1%)	0.33	0.39	0.23	50

<sup>1), 2)</sup>: 第32表参照

系統とする三系交配 $F_1$ が有意差を示した。しかし、修正糖量に関しては、全ての三系交配 $F_1$ が「モノホマレ」に及ばなかった。不純物価は、「(195x185)-22」を構成系統とする三系交配 $F_1$ が有意に「モノホマレ」より低く、高品質性を示した。同時に供試した従来の手法による育成O型系統（「NK-183BRmm-O」、「NK-236mm-O」および「NK-237mm-O」）を構成系統とする三系交配 $F_1$ と比較すると、「(183x185)-34」、「(195x185)-22」および「(195x185)-112」を構成系統とする三系交配 $F_1$ には、根中糖分が高く、品質が優れ、修正糖量が多い傾向が見られた。

実験2における三系交配 $F_1$ では、多くは根重が「モノホマレ」よりも低い値であった（第37表）。「NK-210BR」を花粉親とする三系交配 $F_1$ は、ほぼ「モノホマレ」に近い収量性を示した。根中糖分

は、いずれも有意に「モノホマレ」より高く、高糖性を示した。その結果、糖収量を修正糖量から判断すると、ほぼ「モノホマレ」と同等の三系交配 $F_1$ が多かった。不純物価は、いずれも有意に「モノホマレ」より低く、高品質性を示した。

「(NK-195x(183x185)-97-20BR)xNK-217BR」は、「モノホマレ」よりも根重が有意に高く（第38表）、多収性の特長のある三系交配 $F_1$ であり、また、「(NK-195x(183x185)-34-3BR)xNK-217BR」も、それと同等の糖収量を備えていた。これらの三系交配 $F_1$ は、収量性からみると非常に優れており、同時に供試した他の三系交配 $F_1$ に比較しても優れた特性を有すると判断された。

「(NK-195x(183x185)-97-20BR)xNK-212BR」は、「モノホマレ」よりも根重が高いと同時に根中糖分が有意に高く（第39表）、修正糖量で大き

第38表 (183x185)-97-20BRと(183x185)-34-3BRの三系交配 $F_1$ の  
収量・品質特性（花粉親系統NK-217BRとの交配 $F_1$ ）（1998年）

品種・系統名	根重 (トン/10a)	根中糖分 (%)	不純物価 <sup>1)</sup> (%)	修正糖量 <sup>2)</sup> (kg/10a)
モノホマレ	4.90	15.52	4.46	655
(NK-195x(183x185)-97-20BR)xNK-217BR	5.40	15.52	4.63	716
(NK-195x(183x185)-34-3BR)xNK-217BR	5.26	15.78	4.33	718
(NK-195xNK-258)xNK-217BR	5.00	15.92	4.73	687
(NK-195xNK-259)xNK-217BR	5.23	15.72	4.62	706
(NK-195xNK-280)xNK-217BR	5.20	15.73	4.67	706
L. S. D. (5%)	0.38	-	0.38	55
(1%)	0.51	-	0.51	-

<sup>1), 2)</sup>: 第32表参照

- : 有意差無し

第39表 (183x185)-97-20BRと(183x185)-34-3BRの三系交配 $F_1$ の  
収量・品質特性（花粉親系統NK-212BRとの交配 $F_1$ ）（1999年）

品種・系統名	根重 (トン/10a)	根中糖分 (%)	不純物価 <sup>1)</sup> (%)	修正糖量 <sup>2)</sup> (kg/10a)
モノホマレ	5.38	15.16	6.51	661
(NK-195x(183x185)-97-20BR)xNK-212BR	5.63	16.10	5.43	768
(NK-195x(183x185)-34-3BR)xNK-212BR	5.81	16.17	5.21	800
(NK-195xNK-280)xNK-212BR	5.54	16.05	5.79	746
L. S. D. (5%)	0.43	0.45	0.56	62
(1%)	0.57	0.60	0.75	83

<sup>1), 2)</sup>: 第32表参照

く優り、品質特性も優れていた。「(NK-195×(183×185)34-3BR)×NK-212BR」は、根重、根中糖分および修正糖量ともに「モノホマレ」より有意に高く、品質特性も優れており、同時に供試した他の三系交配 $F_1$ 「(NK-195×NK-280)×NK-212BR」に比較しても優れていると判断された。

以上より、SF系統間交配により育成した新O型系統を構成系統として用い、高収量性・高品質性を備えた優良三系交配 $F_1$ を育成することができた。特に、多収性を備えたSF系統の「NK-195 mm-CMS」との交配による種子親系統を花粉親系統と交配した場合、高収量性、高品質性が発揮されたことから、特定組合せ能力がより高く発現される組合せを探索することにより、さらに高い収量性が期待できると考えられる。

SF系統間交配により高い収量・品質特性を備えた系統が育成され、それを構成系統とする三系交配 $F_1$ の段階でも、有望な系統が得られることが実証された。今後は、さらに広い系統の交配組合せの中から、収量・品質特性のみならず、耐病性、抽苔耐性、種子品質特性等に総合的に優れた $F_1$ を見出すことが重要である。

#### 4. 小 括

SF系統間交配による種子親系統の育成方法は、すでに育成されている優良SF系統の間で交配を行って新系統を育成することから、有望系統の出現確率が高いと同時に短期間での育成が期待できる。実際に、SF系統間交配により育成した新たなO型系統の中に、その両親系統より高い収量、品質を示す系統がいくつか見られたことはそれを裏付け、実用育種への活用が今後の優良O型系統の育成に貢献しうるものと考えられる。様々な起源の育種素材に由来するO型系統が育成された現在において、それらから新系統を育成する本法は、従来からのO型系統育成法を補完する育成方法として位置づけることができる。

育成したO型系統を構成系統とする三系交配 $F_1$ の中から、非常に優れた収量・品質特性を示す系統組合せが見出されたことから、今後の優良新品種の育成につなげることができた。それぞれ優良な形質を持ったO型系統を交配して両者の長所を併せ持つ新系統を育成することに加え、選抜と戻交配を併用することにより、一方の系統の持っている好ましくない形質を改善することも可能で

ある。即ち、病害抵抗性の強化、あるいは抽苔耐性の強化や種子の単胚性改善など、早急な対策が望まれる形質改善に有効な方法として期待できる。藏之内ら(1993)はSF系統間交配による育成材料を用い、根腐病の抵抗性に関する選抜を行って十分な選抜効果を得た。

本研究の結果では、SF系統間の交配に由来する材料から有望な新O型系統が育成されたが、SF系統と自家不和合性系統間の交配からも有望系統を育成する可能性はあると考えられ、今後実際に系統育成を進める必要がある。

#### ・総合考察

テンサイの種子親系統(O型系統と細胞質雄性不稔系統の組合せ)育成においてSF系統が利用され、有用な形質特性を持った自殖性の種子親系統がいくつか育成されてきた。本研究では、これらSF系統を新たに育成素材とし、雄性不稔種子親系統の育成過程(八戸ら, 1984)を効率化した育種法を開発するとともに、近年問題となっている品質関連形質、とりわけ有害性非糖分含量について、SF系統を用いて遺伝的に検討した。

本研究での種子親系統育成の流れを第24図にまとめた。新たな育種素材の作出は、優良形質を持った系統間で交配し、遺伝的に雑ばくな集団を養成することから始まる。SF系統間の交配では除雄が必要不可欠であるが、テンサイの場合は、手作業による除雄が困難であり、しかも化学除雄剤も効果と薬害の点で問題がある(SKOYEN, 1969)。テンサイの着蕾期に低温処理により雄性不稔化することによる除雄法を開発し、この方法をSF系統間の交配に利用できることを明らかにした。この方法により、テンサイにおいて、SF系統間の交配作業の効率化が大幅に図れる。

低温処理による雄性不稔化は、テンサイの除雄法としての育種法にとどまらず、低温による雄性不稔化メカニズムを形態・生理面から詳細に解析することにより、テンサイの細胞質雄性不稔性との異同を明らかにする上でも重要と考えられる。川口・藏之内(1998)は、テンサイにおいて、低温処理された個体の葯中のオリゴ糖およびその関連物質であるアラビノガラクトタンパク質(AGP)あるいはショ糖等の消長が、無処理個体におけるそれらの消長といくつかの点で異なっ

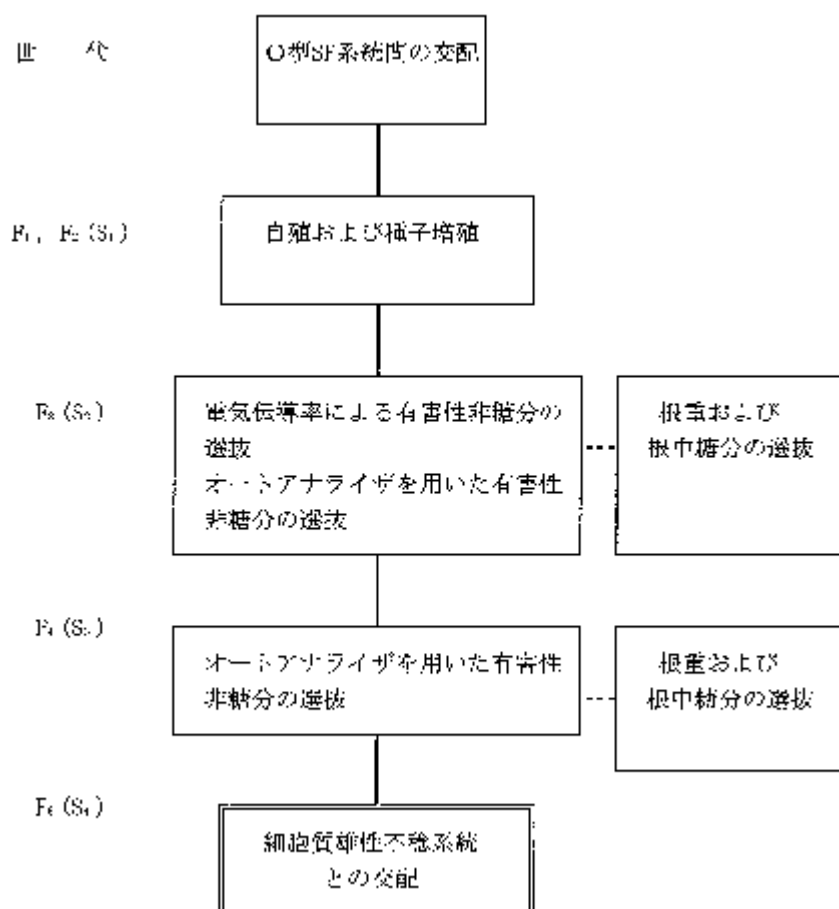
おり、雄性不稔性とこれら物質の消長とが密接に関連していることを明らかにした。テンサイの細胞質雄性不稔系統においても同様の現象が観察されている(川口 未発表)ことから、テンサイの細胞質雄性不稔性の発現メカニズムの解明の手がかりが得られた。

SF系統間交配により育成されたO型系統および従来からの育成方法(単胚系統からのO型個体選抜に由来)により育成されたO型系統のうち、農業形質特性が優れ、北海道農業試験場における命名基準によりNK番号の付された系統数を第40表に示す。1素材系統当たり前者で3.0系統、後者で2.3系統がO型系統として使用されている。さらに、その中から近年の北海道立農業試験場での生産力検定試験(系統適応性検定試験および現地選抜試験)に供試された系統は、1素材系統当たり前者で1系統、後者で0.7系統であった。SF系統間交配によるO型系統の育成は、従来からの育成方法において労力を要していたO型個体

選抜の過程が含まれないため、省力的である。したがって、SF系統間交配によるO型系統の育成は、従来の育成法以上の効率化が期待できる。

テンサイの優良品種には、収量関連形質に加え、病害抵抗性、単胚性および抽苔耐性等が求められる。さらに、近年のテンサイ育種では、有害性非糖分含量を低くすること、すなわち高品質性の付与が重要な育種目標である。これらの形質を同時に改良することは、従来からの種子親系統育成の流れでは困難と言わざるを得ないが、本研究のSF系統間交配による育成方法ならびに有害性非糖分含量に関する選抜手法(電気伝導率による個体選抜およびオートアナライザを用いた個体選抜)を用いることにより、より効率的にそれを解決できると考えられる。また、本手法は、必要に応じ、育成された新たなO型系統をさらに交配親として用い、有用遺伝子の集積を図ることも可能と考えられる。

収量関連形質と有害性非糖分との間の、あるい



第24図 O型系統間の交配に基づく高収量・高品質性のSF系統の育成過程

は有害性非糖分の各成分間の相互関係については、一定の傾向がある。有害性非糖分含量については、根重との間に正、根中糖分との間に負、有害性非糖分含量間では正の相関関係が認められている (CAMPBELL et. al., 1983, POWERS et. al., 1959, POWERS et. al., 1962) が、この相関関係はSF系統においても観察された。また、SF系統の中には、特徴的な相関関係を示す系統が認められた。特に、K含量とブリックス度(根中糖分)との関係において顕著であり、正の相関を示す系統も見られた。同じ1価イオンとして存在するNaの含量には、このような系統による差が見られなかったことは、Naと根中糖分との間の密接な関連を示すと同時に、テンサイの植物体内でのKとNaの役割がそれぞれ異なることを示唆するものである。今後は、こうした側面から、テンサイの有害性非糖分の選抜について検討を加える必要がある

第40表 O型系統の育種素材と各素材から育成されたO型SF系統数

素材系統名	育成O型系統数 <sup>1)</sup>	最近の公式試験 <sup>2)</sup> 供試系統数
T2n-15	4	0
T2n-16	3	1
T2n-17	1	0
T2n-21	4	0
T2n-22	3	1
T2n-23	3	0
T2n-24	0,(1)	0
T2n-25	2,(1)	1,(1)
T2n-26	4	1
N2n-28	3	1
N2n-29	2	0
N2n-32	4	3
N2n-33	2	2
N2n-34	1	1
N2n-35	1	0
N2n-38	1	0
N2n-39	1	1
N2n-40	0,(1)	0
183x185	3	2
195x185	3	0

<sup>1)</sup>: 北海道農業試験場の命名規則によりNK番号の付された系統数

<sup>2)</sup>: 1995～1999年における北海道内の国公立農業試験場での生産力検定試験

( ): 自家不和合性系統数

う。

テンサイの品質関連成分である有害性非糖分は、製糖面では低含量が好ましいが、植物体内では根の肥大や蓄糖過程を始めとして何らかの生理的作用に深い関連を持つ成分である。Naは、根の細胞膜に作用して水分吸収を増大している (RUSSELL, 1950) ことから、極端な含量の減少は根重の低下につながり、自ずと選抜限界があることが推測される。品質の指標となる不純物価で比較すると、世界的に最も高品質な品種とされる「モノヒカリ」の不純物価は、品種「モノホマレ」の不純物価の約80%であり (川勝ら, 1991), 「モノヒカリ」並の高品質性とともに、他の農業形質の優れる品種育成が当面の目標となろう。

以上から、SF系統を利用した三系交配一代雑種品種の育種手法は、従来からの自家不和合性を持つO型系統を用いる育種手法に加えて有効な新たな育種手法として活用でき、高品質品種育成に大きく貢献すると考えられる。

## ・摘 要

テンサイの優良品種は、三系交配一代雑種が主流となっている。この育種法に必要な種子親系統の開発には、細胞質雄性不稔系統とその維持系統(O型系統)を育成し、それら系統の組合せを選択する複雑な育成過程があり、長期間を要するのが特徴である。また、近年は、収量形質に加えて品質関連形質(有害性非糖分含量)の改善が重要となってきた。本研究では、テンサイにおいて、自殖遺伝子 $S^f$ を持つSF系統を用いて、これらの系統間の交配により、効率的に高収量・高品質性のO型系統、 $F_1$ 種子親系統および三系交配 $F_1$ を育成することを目的に、そのための育種法の開発および品質関連形質を中心としたテンサイの育種主要形質に関する遺伝的考察を行った。

1. 低温による雄性不稔化を利用したSF系統間交配法

生殖生長期の低温処理により引き起こされる雄性不稔化を利用して、テンサイのSF系統間の交配を行う時に有用な除雄法の開発を試みた。テンサイの幼苗の春化処理後の着蕾個体に、24時間日長で、5では50日間、3では30日間の低温処理をすることによって、十分な雄性不稔化が達成できた。この条件では、花器官の雌性機能に問題

となる障害はなく、健全な花粉を交配することによって雑種種子を採種することができた。本手法は、手作業による除雄に比較して採種量は同等であり、交配時の除雄作業の省力化を図ることができると考えられた。雄性不稔化については、低温処理によって葯内の小胞子と周囲の葯壁細胞との間に生育差を生じることが、雄性不稔化の初期反応と考えられた。なお、低温による雄性不稔化は、花粉稔性回復遺伝子型との間には関連が見られなかった。

## 2. 収量および品質形質におよぼす自殖の影響

SF系統を4回から8回自殖を繰り返した系統を用い、収量および品質形質におよぼす自殖による影響を検討した。自殖5回以前において、根重では自殖回数に伴う減少が大きい場合があり、それに伴って糖量においても同様の傾向がみられたが、根中糖分や有害性非糖分含量では自殖による影響は明らかでなかった。自殖5回以降の世代では、収量および品質形質に自殖を重ねることによる影響は見られなかった。我が国では、自殖5回以降のSF系統を $F_1$ 採種のための交配に供試しており、本結果から、自殖による影響は大きな問題とはならないと考えられた。SF系統を用いて根重や糖量に関する遺伝解析を行う場合は、自殖5回以前では自殖による影響を考慮する必要があるが、根中糖分や有害性非糖分含量では自殖による影響は問題とならないと考えられた。

## 3. 収量および品質特性の選抜効果とそれらの相互関係

テンサイの収量特性として根重と根中糖分、品質特性として砂糖の結晶化を阻害する有害性非糖分と総称されるアミノ-N、KとNaの含量について、SF系統間交配後代の育成系統を用い、それら形質の選抜効果について検討した。根重については、両親系統よりも多収性を示す選抜後代を育成するのが可能であることが示された。しかし、根中糖分については、両親系統を凌駕するのは困難であり、交配時の両親に優良系統を選択することが重要であると考えられた。有害性非糖分含量については選抜効果が明らかであり、両親系統よりも低含量の系統を育成することができた。選抜効果は、Na含量が最も大きく、次いでアミノ-

N含量、K含量の順であった。SF系統間交配により、収量および品質関連形質の優良な系統を育成することは十分に可能であることが示された。

品質関連形質と収量関連形質との遺伝的関係を検討した結果、各系統で一定した相関関係が見られる形質と、系統により異なる相関関係の見られる形質の存在することが判明した。高ブリックス度への選抜は、低Na含量への副次的選抜効果を期待することができると考えられたが、低アミノ-N含量や低K含量への副次的選抜効果は必ずしも期待できないと判断された。したがって、SF系統の有害性非糖分の改良は、各成分自身の選抜が必要と考えられた。

SF系統間交配により育成した材料について、有害性非糖分含量の選抜を繰り返した結果、1回から2回の選抜でも十分な選抜効果が得られ、さらに選抜を繰り返す必要の少ないことが示された。また、自殖の初期世代(自殖2回程度)で選抜を行うことで、有害性非糖分含量の効率的な選抜を行うことができると考えられた。さらに、有害性非糖分含量に関する簡易個体選抜手法として、根部汁液の電気伝導率による測定法を開発した。電気伝導率による選抜は、K含量とNa含量に有効であったが、アミノ-N含量では選抜効果が表れなかった。

## 4. SF系統を利用した種子親系統と三系交配 $F_1$ の育成

SF系統間の交配に由来する育成系統の中から、収量および品質特性の優れたO型系統が育成され、それらは細胞質雄性不稔系統との交配 $F_1$ で優れた収量および品質特性を示し、優良な種子親系統が育成された。これらの種子親系統を用いて、種々の花粉親系統を交配し三系交配 $F_1$ を育成した。これらの三系交配 $F_1$ の中には、標準品種「モノホマレ」よりも明らかに優れた収量および品質特性を示すものが見られた。特に、有害性非糖分含量に関して優良な三系交配 $F_1$ が開発された。テンサイにおいて、SF系統を利用した三系交配一代雑種品種の育種手法は、従来からの自家不和合性を持つO型系統を用いる育種法に加えて有効な新たな育種手法として活用でき、高品質品種育成に貢献することが多だと考えられる。

## 謝 辞

北海道大学名誉教授 島本義也博士には、本論文を取りまとめるに際し、ご懇切なるご指導とご校閲を賜りました。北海道大学教授 佐野芳雄博士、北海道大学教授 三上哲夫博士には、本論文のご校閲・ご助言を賜りました。北海道農業研究センターてん菜育種研究室長 田中征勝博士には、本研究を遂行するに際して終始ご指導とご激励をいただくとともに、本論文のご校閲を賜りました。北海道大学助教授 阿部 純博士には、多くのご助言とご校閲を賜りました。本研究を進めるに当たり、北海道農業研究センター冷害生理研究室 川口健太郎博士には、低温による雄性不稔化研究についてご助言並びにご協力を頂きました。

元北海道農業試験場畑作物生産部長 永田伸彦氏、北海道農業研究センター企画調整部長 八戸三千男氏、元北海道農業試験場畑作物研究センター業務科長 関村 潔氏には、テンサイ種子親系統育成に関して多くのご指導を頂きました。また、自殖による影響に関する実験に供試した材料は、八戸三千男部長が主として育成されました。現地選抜ほ試験における育成材料の検定では、北海道立北見農業試験場作物科の関係各位のご協力を賜りました。

元北海道農業試験場畑作物研究センター業務科長 林 孝道氏、元同てん菜育種研究室主任研究官(現農業生物資源研究所) 川勝正夫氏、北海道農業研究センターてん菜育種研究室 大渦直樹氏、同研究室 高橋宙之氏、同研究室 田口和憲氏、元同研究室 中野睦子氏、元北海道農業試験場てん菜育種法研究室長 増谷哲雄博士、元同研究室主任研究官 故柘植正徳氏、元北海道農業試験場品質制御研究チーム長(現鹿児島大学教授) 箱山 晋博士、元同病害研究室長(現北海道大学教授) 内藤繁男博士、元同環境制御研究チーム長(現国際農林水産業研究センター) 本間善久博士、元同畑病害研究室主任研究官(現農業技術研究機構花き研究所) 築尾嘉章博士には、てん菜の育種研究に携わる中で、多くのご指導・ご協力を頂きました。

本研究の遂行に際しては、元北海道農業試験場業務第2科総括作業長 奥村 隆氏、北海道農業研究センター業務第1科 宮川満穂氏、同センター

業務第2科 成田優司氏、同科 杉澤良太氏をはじめとする同科職員各位、北海道農業研究センター畑作物研究部業務科平井則宏氏、同科 柴田和洋氏をはじめとする同科職員各位、元北海道農業試験場臨時職員 谷 節子氏、北海道農業研究センター臨時職員 高橋千鶴氏、同業務科臨時職員各位、甘味資源振興会臨時職員 出口奈美氏のご協力を頂きました。

農業環境技術研究所微生物生態ユニット 松本直幸博士には、本論文Summaryに関してご校閲をいただくとともに、ご助言・ご激励をいただきました。農業技術研究機構作物研究所畑作物研究部長 喜多村啓介博士、同部甘しょ育種研究室長中谷 誠博士には、本論文を取りまとめるに当たりご助言・ご激励をいただきました。

以上の皆様に対し、心から厚く御礼を申し上げます。

## 引用文献

- 1) ABE, J. and TSUDA, C. (1987): Genetic analysis for isozyme variation in the section *Vulgares*, genus *Beta*. Jpn J. Breed., 37, 253-261.
- 2) 阿部 純 (1991): *Beta*属のアイソザイム変異と系統分化に関する研究. 北海道大学農学部邦文紀要. 17, 324-355.
- 3) ABE, J., GUAN, G. P. and SHIMAMOTO, Y. (1993): Linkage maps for nine isozyme and four marker loci in sugarbeet (*Beta vulgaris* L.). Euphytica, 66, 117-126.
- 4) BARZEN, E., MECHELKE, W., RITTER, E., SEITZER, J. F. and SALAMIN, F. (1992): RFLP markers for sugar beet breeding: chromosomal linkage maps and location of major genes for rhizomania resistance, monogermity and hypocotyl colour. The Plant Jour., 2, 601-611.
- 5) BOSEMARK, N. O. and ARVIDSON, M. (1964): Comparisons between different methods of beet quality assesment. The 27th Winter Congress of the I.I.R.B., Brussel 1964, Intern. Inst. Sugar Beet Res., 275-296.



- 6) CAMPBELL, L. G. and KERN, J. J. (1983): Relationships among components of yield and quality of sugarbeets. *Jour. of Amer. Soc. Sugar Beet Techn.*, 22, 135-145.
- 7) COE, G. E. (1987): Selecting sugarbeets for low content of nonsucrose solubles. *Jour. of Amer. Soc. Sugar Beet Techn.*, 24, 41-48.
- 8) DORION, S., LALONDE S., and SAINI, H. S. (1996): Induction of male sterility in wheat by meiotic-stage water deficit is preceded by a decline in invertase activity and changes in carbohydrate metabolism in anthers. *Plant Physiol.*, 111, 137-145.
- 9) DOXTATOR, C.W. and BAUSERMAN, H.M. (1952): Parent progeny tests for sodium and potassium content. *Proc. Amer. Soc. Sugar Beet Techn.*, pp. 319-321.
- 10) FINKNER, R.E. and BAUSERMAN, H.M. (1956): Breeding of sugar beets with reference to sodium, sucrose and raffinose content. *Jour. of Amer. Soc. Sugar Beet Techn.*, 9, 170-177.
- 11) 藤本文弘 (1971): てん菜育種における母系選抜法の評価に関する研究. てん菜研究報告. 10, 1-136.
- 12) HAC, L. R., LONG, M. L., ST. JOHR, G. A. and WALKER, A. C. (1952): Relationship between root weight, glutamic acid and sucrose content of inbred lines of sugar beets. *Proc. Amer. Soc. Sugar Beet Techn.*, 7, 322-330.
- 13) 八戸三千男・関村 潔・永田伸彦・長谷川寿保・武田竹雄 (1984):  $S^f$  因子を有するテンサイO型自殖系統の実用的特性. てん菜研究会報. 26, 22-30.
- 14) 長谷川寿保・武田竹雄 (1973): てん菜の栽培環境と根重ならびに糖分の選抜効果に関する研究. てん菜研究報告. 15, 1-108.
- 15) 長谷川寿保・八戸三千男・関村 潔・武田竹雄 (1981): テンサイの自殖因子利用による育種 - 自殖因子 ( $S^f$ ) の遺伝性について -. 北海道農業試験場報告. 129, 93-103.
- 16) HECKER, R. J. (1964): Population genetic studies pertaining to methods of breeding sugar beets (*Beta vulgaris* L.). Ph. D. thesis, Colorado State Univ..
- 17) 北海道農業試験場てん菜部 (1985): 抽苔耐性特性検定試験 昭和60年度てんさい試験成績概要. 5.
- 18) 細川定治 (1954): 甜菜の有害性窒素に関する研究. 北海道農業試験場報告. 51, 1-110.
- 19) 細川定治・武田竹雄・斎藤健一 (1964): てん菜の育種における個体選抜について. 集団選抜と母系系統選抜における等確率偏差楕円の適用. 育種. 14, 259-262.
- 20) 今西 茂・武田竹雄 (1969): てん菜の2, 3形質に関する遺伝力の推定と遺伝的獲得量との関係. 育種. 19, 47-53.
- 21) 今西 茂・武田竹雄 (1971): てん菜の雄性不稔利用に関する育種学的研究. てん菜研究報告. 11, 1-325.
- 22) 今西 茂・武田竹雄 (1991): テンサイ一代雑種品種における雄性不稔親系統の育成方法について. 育種. 41 (別2), 4-5.
- 23) ISAK, H. (1963): Versuch mit einem chemischen gametocid an Beta-ruben. *Zuchter* 33, 355-356.
- 24) 川勝正夫・田辺秀男・園田忠弘・永田伸彦・増谷哲雄・安間 舜・中島淳吉・林 孝道・関村 潔・柘植正徳・溝口 健・高橋良二・藏之内利和・八戸三千男 (1991): テンサイ品種「モノホマレ」の育成とその特性. 北海道農業試験場研究報告. 155, 65-80.
- 25) 川口健太郎・藏之内利和 (1998): 低温処理で雄性不稔化したテンサイ葯の糖含量の変動について. 育種・作物学会北海道談話会会報. 39, 49-50.
- 26) KINOSHITA, T. and MIKAMI, T. (1990): Classification of male sterile cytoplasmic types in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Jour. Fac. Agr. Hokkaido Univ.*, 64, 219-228.
- 27) 藏之内利和 (1989): テンサイの胚軸色に關与する補足遺伝子. 育種・作物学会北海道談話会会報. 29, 42.

- 28) 藏之内利和 (1997): テンサイの品質選抜における根部汁液電気伝導率測定法の改良と活用. 育種・作物学会北海道談話会会報. 38, 90-91.
- 29) 藏之内利和・本間善久・田中征勝 (1993): テンサイ根腐病抵抗性についての早期選抜. 育種・作物学会北海道談話会会報. 34, 114-115.
- 30) 藏之内利和・川勝正夫・中野睦子・田中征勝 (1995): テンサイ新品種「マイティ」の育成と選抜経過. てん菜研究会報. 36, 6-12.
- 31) 藏之内利和・大淵直樹・田中征勝 (1998): てんさい単胚系統の交配及び育成素材の選抜. 平成10年度てんさい試験成績概要. 2.
- 32) 牧田道夫 (1964): てん菜母根に含まれるNaとKの集団選抜の効果について. てん菜研究報告. 補3, 45-51.
- 33) 牧田道夫・中島淳吉 (1973): てん菜の造蜜性非糖分とくに可溶性灰分に関する育種学的研究. てん菜研究報告. 16, 1-114.
- 34) MEREDITH, W. R., Jr. (1979): Inbreeding depression of selected  $F_3$  cotton progenies. Crop Sci., 19, 86-88.
- 35) NAGAO, S. and KINOSHITA, T. (1962): Causal genes and character expression in male sterility in beets. Jour. Fac. Agr. Hokkaido Univ., 52, 51-69.
- 36) 永田伸彦 (1985): テンサイ 細胞質雄性不稔, 初版, P. 173-182. シーエムシー出版, 東京.
- 37) OWEN, F. V. (1942): Inheritance of cross and self fertility in *Beta vulgaris*. Jour. Agr. Res., 64, 679-698.
- 38) POWERS, L., FINKNER, R. E., RUSH, G. E., WOOD, R. R. and PETERSON, D. F. (1959): Genetic improvement of processing quality in sugar beets. Jour. Amer. Soc. Sugar Beet Techn., 10, 578-593.
- 39) POWERS, L., SCHMEHL, W. R., FEDERER, W. T. and PAYNE, M. G. (1962): Chemical genetic and soils studies involving thirteen characters in sugar beets. Jour. Amer. Soc. Sugar Beet Techn., 12, 411-448.
- 40) REINEFELD, E., EMMERICH, A., BAUMGARTEN, G., WINNER, C. and BEIS, U. (1974): Zur Voraussage des Melassezuckers aus Rubenanalysen. Zucker, 27, 2-15.
- 41) RUSSELL, E. J. (1950): Soil conditions and plant growth. 8th edition. Longmans. 42.
- 42) RYSER, G. K., STOUT, M., ULRICH, A. and OWEN, F. V. (1959): Some chemical and physiological characteristics of inbred lines of sugarbeets. Jour. Amer. Soc. Sugar Beet Techn., 10, 525-543.
- 43) RYSER, G. K. and THEURER, J. C. (1970): Impurity index selections on individual sugarbeets. Jour. Amer. Soc. Sugar Beet Techn., 16, 399-407.
- 44) SATAKE, T. (1974): Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants, 9. Proc. of the Crop Science Soc. of Jpn., 43, 31-35. SATAKE, T. (1976): Determination of most sensitive stage to sterile-type cool injury in rice plants. Res. Bull. Hokkaido Natl. Agric. Exp. Stn., 113, 1-44.
- 46) SATAKE, T. (1989): Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice (*Oryza sativa*) plants, 29. Jpn Jour. of Crop Science, 58, 240-245.
- 47) SAVITSKY, H. (1954): Self-sterility and self-fertility in monogerm beets. Proc. Amer. Soc. of Sugar Beet Technol., 8, 29-33.
- 48) 千藤茂行 (1998): トウモロコシ. 北海道における作物育種, 初版, P. 219-244. 北海道協同組合通信社, 北海道.
- 49) 関村 潔, 林 孝道, 川勝正夫, 永田伸彦 (1988): テンサイ新品種「モノパール」「モノホマレ」の諸特性. てん菜研究会報. 30, 8-17.
- 50) 関村 潔・武田竹雄・田辺秀男・永田伸彦・八戸三千男・川勝正夫・長谷川寿保・増谷哲雄・安間 舜・林 孝道・柘植正徳・溝口 健・藏之内利和・高橋良二 (1991): テンサイ品種「モノパール」の育成とその特性. 北海道農業試験場研究報告. 155, 49-64.

- 51) SKOYEN, I. O. (1969): Sugarbeet responses to selective gametocide sodium 2, 3-dichloroisobutyrate and related chemicals. Jour. Amer. Soc. Sugar Beet Technol., 15, 425-437.
- 52) SMED, E., VAN GEYT, J. P. C. and OLEO, M. (1989): Genetical control and linkage relationships of isozyme markers in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). 1. Isocitrate dehydrogenase, adenylate kinase, phosphoglucomutase, glucose phosphate isomerase and cathodal peroxidase. Theor. Appl. Genet., 78, 97-104.
- 53) SMITH, G. A. and MARTIN, S. S. (1989): Effects of selection for sugarbeet purity components on quality and sucrose extractions. Crop science, 29, 294-298.
- 54) SRIVASTAVA, H. M., SRIVASTAVA, B. L., KAPUR, R. and SAXENA, V. K. (1989): Inbreeding depression in sugar beet *Beta vulgaris* L.. Indian J. Genet. Plant Breed., 49, 399-402.
- 55) SUNESON, C. A. (1937): Emasculation of wheat by chilling. Jour. of the Amer. Soc. of Agronomy, 29, 247-249.
- 56) 武田竹雄・長谷川寿保・八戸三千男・川勝正夫 (1971): 単胚品種の育成における育種年限の短縮について. てん菜研究報告. 補巻13, 172-178.
- 57) 武田竹雄・長谷川寿保・関村 潔・八戸三千男 (1979): てん菜单胚種育種素材の育成経過. てん菜研究会報. 21, 237-253.
- 58) 田辺秀男 (1983): テンサイの組合せ能力と多収性. 作物育種の理論と方法, 初版, P. 72-76. 養賢堂, 東京.
- 59) 田中征勝 (1998): テンサイ. 北海道における作物育種, 初版, P. 197-218. 北海道協同組合通信社, 北海道.
- 60) VAN GEYT, J. P. C. F. and SMED, E. (1984): Polymorphism of some marker enzymes of the sugarbeet (*Beta vulgaris* L.) investigated by polyacrylamide gel electrophoresis and starch gel electrophoresis. Z. Pflanzenzucht, 92, 295-308.
- 61) VAN GEYT, J. P. C., LANGE, W., OLEO, M., TH. DE BOCK, S. M. (1990): Natural variation within the genus *Beta* and its possible use for breeding sugar beet: A review. Euphytica, 49, 57-76.
- 62) WAGNER, H., WEBER, W. E. and WRICKE, G. (1992): Estimating linkage relationship of isozyme markers and morphological markers in sugar beet *Betavulgaris* L. including families distorted segregations. Plant Breeding, 108, 89-96.
- 63) WILSIE, C. P. (1958): Effect of inbreeding on fertility and vigor of alfalfa. Agr. Jour., 50.

#### 参考文献

- 1) 細川定治 (1980): 甜菜, 初版, 養賢堂, 東京.
- 2) 永田伸彦 (1995): 第2章 テンサイ作の歴史と現状, 昭和農業技術発達史 第3巻, 初版, p. 323-345, 農文協, 東京.

付表 第1表 本論文における供試系統の由来・特徴

系統名	遺伝的特徴	由来	特記すべき特性等
TK-76-49/2mm-0	O型系統	Tmm-1	自家不和合性，高組合せ能力
TK-80-2mm-0	O型系統	Tmm-1	自家不和合性，根腐病抵抗性
TK-80-2-BR <sub>2</sub> mm-0	O型系統	TK-80-2mm-0の抽苔耐性選抜系統	
NK-172mm-0	O型系統	T2n-14	自家不和合性
NK-180BRmm-0	O型系統	T2n-15	自殖性(SF系統)，根腐病抵抗性
NK-183mm-0	O型系統	T2n-16	自殖性(SF系統)，高組合せ能力
NK-183BRmm-0	O型系統	NK-183mm-0の抽苔耐性選抜系統	
NK-185mm-0	O型系統	T2n-17	自殖性(SF系統)，高糖性，根腐病抵抗性
NK-185BRmm-0	O型系統	NK-185mm-0の抽苔耐性選抜系統	
NK-194mm-0	O型系統	T2n-22	自殖性(SF系統)，高組合せ能力
NK-195mm-0	O型系統	T2n-22	自殖性(SF系統)，高組合せ能力，抽苔耐性，根腐病抵抗性
NK-196mm-0	O型系統	T2n-23	自殖性(SF系統)，高糖性
NK-202mm-0	O型系統	T2n-22	自殖性(SF系統)
NK-203mm-0	O型系統	T2n-23	自殖性(SF系統)
NK-219mm-0	O型系統	N2n-28	自殖性(SF系統)，高組合せ能力，抽苔耐性
NK-229BRmm-0	O型系統	N2n-33	自殖性(SF系統)，高組合せ能力，抽苔耐性
NK-233BRmm-0	O型系統	N2n-32	自殖性(SF系統)，やや高糖性，抽苔耐性
NK-236mm-0	O型系統	N2n-38	自殖性(SF系統)，高組合せ能力
NK-237mm-0	O型系統	N2n-39	自殖性(SF系統)，やや高糖性，抽苔耐性
NK-280mm-0	O型系統	TK-80-2-BR <sub>2</sub> mm-0の根腐病抵抗性選抜系統	
(183x185)-34	O型系統	183x185のSF系統間交配	自殖性(SF系統)，NK-244mm-0
(183x185)-34-3BR	O型系統	(183x185)-34-3の抽苔耐性選抜系統	NK-254BRmm-0
(183x185)-97-20	O型系統	183x185のSF系統間交配	自殖性(SF系統)，NK-248mm-0
(195x185)-22	O型系統	195x185のSF系統間交配	自殖性(SF系統)，NK-245mm-0
(195x185)-22BR	O型系統	(195x185)-22の抽苔耐性選抜系統	NK-245BRmm-0
(195x185)-112	O型系統	195x185のSF系統間交配	NK-246mm-0
T2n-21-16-95	O型系統	T2n-21	自殖性(SF系統)，自殖性(SF系統)
T2n-21-103-80	O型系統	T2n-21	自殖性(SF系統)
T2n-22-14-106	O型系統	T2n-22	自殖性(SF系統)

O型系統は全て単胚性 1): NK-183mm-0×NK-185mm-0 2): NK-195mm-0×NK-185mm-0

付表 第1表 続き～ 本論文における供試系統の由来・特徴

系統名	遺伝的特徴	由来	特記すべき特性等
T2n-24	単胚系統	TA-37, SL 129-0	自殖性(SF系統), 自家不和合性個体を分離
X2n-28	単胚系統	TA-37, TA-41	自殖性(SF系統), 自家不和合性個体を分離
X2n-29	単胚系統	TA 30, TA-37, TA-43	自殖性(SF系統), 自家不和合性個体を分離
X2n-35	単胚系統	TK-84, TK-103, TA-30, TA-37, TA-43	自殖性(SF系統), 自家不和合性個体を分離
X2n-36	単胚系統	US-201	自殖性(SF系統), 自家不和合性個体を分離
TK-80-2-BR <sub>2</sub> mm-CMS	雄性不稔系統	Tmm-1	自家不和合性, 根腐病抵抗性
NK-172mm-CMS	雄性不稔系統	T2n-14	自家不和合性
NK-172BRmm-CMS	雄性不稔系統	NK-172mm-CMSの抽苔耐性選抜系統	自殖性(SF系統), 高組合せ能力, 抽苔耐性, 黒根病抵抗性
NK-195mm-CMS	雄性不稔系統	T2n-22	自殖性(SF系統)
NK-208BRmm-CMS	雄性不稔系統	T2n-26	
NK-232mm-CMS	雄性不稔系統	TK-76-49/2mm-CMSの抽苔耐性選抜系統	
NK-150	花粉親系統	SP561001-0	自家不和合性, 赤ピート, 組合せ能力検定用テスト
NK-1523R	花粉親系統	TA-30	自家不和合性, 2倍体, 高糖・高品質性
NK-210BR	花粉親系統	TA-30	自家不和合性, 2倍体, 多収性
NK-212BR	花粉親系統	NK-152より選抜	自家不和合性, 2倍体, やや高糖・やや多収性
NK-217BR	花粉親系統	TA-30	自家不和合性, 4倍体, 高糖性
NK-218BR	花粉親系統	NK-212BRより選抜	自家不和合性, 2倍体, やや高糖・やや多収性
モノホマレ	代雑種品種	MONSC33, 431×NK-152	標準品種, 多収性, やや高糖性
モノヒカリ	一代雑種品種	TK-76-49/2×NK-152	多収性, やや高糖性, 高品質
EG-753109	1年生系統		
KS6-2	フダンソウ	西洋大葉	雄株
EG-753201	<i>Beta maritima</i>		雌株
JW-31	<i>Beta maritima</i>		雄株

花粉親系統, 正種, 1年生系統は多胚性, その他は全て単胚性

付表 第2表 本論文における供試系統の由来・特徴—2—へSF系統間交配・自家不和合性系統とSF系統との交配に由来する系統—

系統名 (交配組合せで表記)	特記すべき特性等	備 考
NK-183mm-C×NK-185mm-0 NK-195mm-C×NK-185mm-0	白殖性(SF系統) 自殖性(SF系統)	SF系統間交配由来 SF系統間交配由来
NK-172-60/A-37×(NK-183mm-0×NK-185mm-0)	白殖性(SF系統), 自家不和合性個体を分離	自家不和合性系統とSF系統との 交配に由来
TK-76-49/2mm-0×NK-195mm-0	白殖性(SF系統), 自家不和合性個体を分離	自家不和合性系統とSF系統との 交配に由来

## Breeding of sugar beet cultivars with high quality using self-fertile gene ( $S^f$ )

Toshikazu KURANOCHI

### Summary

Most of the sugar beet ( *Beta vulgaris* L. ) cultivars released recently in Japan are triple-cross hybrids. Breeding for hybrid cultivars, requires improving seed parent lines, which consists of combination of cytoplasmic male sterile ( CMS ) lines and maintainer ( type-O ) lines. The breeding of seed parent lines is laborious and time-consuming. Low harmful non-sugars have been added to high yield in breeding objectives of sugar beet. Using crossing between SF lines with  $S^f$  gene in sugar beet, a breeding method was investigated to develop a triple-cross hybrid with high yield and high quality, and presented the results from the genetical study on harmful non-sugars.

#### 1. Male sterility induced by cooling treatment and its application to cross-pollination between self-fertile lines in sugar beet

Castration has been necessary to make crosses between SF lines. Male sterility induced by cooling treatment in reproductive-stage of sugar beet plants, was applied as castration method. Male sterility was completely induced by the cooling treatment ( with 24 hour day-length ) of 5 for 50 days or 3 for 30 days at the early bud stage of vernalized plants. Female organs in the male sterile plants by the cooling treatment were not injured and produced hybrid seeds by crossing with normal pollen. The seed productivity of the male sterile plants was almost even to hand-castrated plants. Male sterility with

cooling treatment was applicable for cross-pollination as an efficient method of castration in sugar beet. The male sterility was induced in not only type-O lines but also type-Rf ( Restorer ) lines. The sensitivity to cool temperature of generative cells and tapetum cells is more significant to that of somatic cells in anthers of sugar beet. Unsimultaneous development between these cells caused by cooling treatment is considered to be an indication of developing of male sterility.

#### 2. Consequence of selfing on yield and quality

Performance of SF lines with self-crossing was investigated in consecutive generations from  $S_4$  ( selfed four times ) to  $S_8$ . Decrease of root weight was recognized in  $S_4$  and  $S_5$ , and not in the advanced generations, and decrease was not observed in sugar content and harmful non-sugars content for almost all SF lines. SF lines are recommended to cross with other lines to produce hybrid seeds in  $S_5$  or advanced generations in the breeding program of sugar beet. When SF lines are used to analyze genetical behavior on root weight or sugar yield, consequence of selfing must be considered.

#### 3. Selection effects on yield and harmful non-sugar content in progeny of hybrids between SF lines

Using breeding materials derived from the crosses between SF lines, selection effects on some important agronomical characteristics of sugar beet, i.e., root weight, sugar content

and harmful non-sugars ( Amino-N, K and Na ) content were investigated. The selection for high root yield seemed successful. As to sugar content, it seemed difficult to select lines with higher content than parental lines, and thus high sugar content lines should be chosen as parents. Selection difference was obvious in harmful non-sugar content, which was lower than that of parental lines of some progenies. Effect of the selection was high in Na, and was moderately in amino-N, and was low in K contents. Breeding of lines with high yield and high quality was shown to be possible through crossing between SF lines.

Root-crown weight, brix and harmful non-sugars were determined in many O-type SF lines, and correlation and principal component analyses were made on lines basis and individual basis. Generally, there were significant negative correlations between brix and Na content. Correlation between brix and K or amino-N content was negative in most lines, but positive in some lines. Consequently, it was suggested that selection by brix is useful for lowering of Na content, but that selection for high brix does not substitute selection for the low content of amino-N and K.

Selection against harmful non-sugars was

carried out repeatedly for O-type SF lines. Selection was effective after only 1 or 2 cycles, and brought about the plants with the low contents. In conclusion, the selection against harmful non-sugars may be done at S<sub>2</sub> generation. The determination of harmful non-sugars is easier by electric conductivity ( EC ) analyzer than by auto-analyzer. Although the analyzing method of EC is simple and efficient, it does not reflect non-electrolyte, amino-N content.

#### 4. Breeding of seed parent lines by crossing between SF lines

In sugar beet, type-O lines with high yield and high quality were produced through crossing between some SF lines. Some seed parent lines of the type-O lines with cytoplasmic male sterile lines showed the high yield and low harmful non-sugar content.

Some triple-cross hybrids of SF lines with the seed parents showed higher yield and higher quality, than the standard cultivar of Japan, 'Monohomare'. Particularly, these hybrids showed low harmful non-sugar content. The breeding method with crossing between SF lines is considered to exceed conventional method for developing the type-O lines. This method may be desirable in improving quality characteristics of sugar beet.